

Masterarbeit

Zur Erlangung des akademischen Grades

Master of Science (M.Sc.)

**Systemanalyse zur Weiterentwicklung des MEPA-Systems für
die Pflanzenkultivierung in extraterrestrischen Lebensräumen
und terrestrischen Notstandssituationen**

**Systems analysis for the advancement of the MEPA-system for
plant cultivation in extraterrestrial habitats and terrestrial
emergency situations**

Marvin Lipps, 2826580

Fachbereich 4, Produktionstechnik - Maschinenbau & Verfahrenstechnik

Vertiefungsrichtung Luft- und Raumfahrttechnik

Betreut von

Dr.-Ing. Daniel Schubert

Prof. Dr. Claus Braxmaier

Dr. Oliver Romberg

09.06.202



Universität Bremen



**Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt**

Abstract

Technologies developed for spaceflight must function under extreme conditions. Not only do systems and equipment need to be robust, safe, compact, lightweight and easy to use, but they must also function reliably and sometimes autonomously. These special properties also prove useful on Earth, not least for dealing with natural disasters and other extreme situations. The mobile and deployable plant cultivation unit MEPA (Mobile Entfaltbare Pflanzenanbaueinheit) is one of the projects launched by the German Aerospace Center (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt DLR) to make space technologies usable for humanitarian aid. In humanitarian crisis situations, supplying food is one of the most crucial tasks undertaken by international aid organisations. However, fresh foods such as fruit or vegetables tend to be either scarce or completely unavailable. A medium-term source of nutrition is often required for the people at the crisis site. The MEPA System is designed for use in areas affected by disasters. It doesn't require soil, is reusable, and enables rapid production, with the first harvest after just four to six weeks. In addition, it is easy to use, and can be deployed on a standalone basis. In this thesis, the MEPA system is subject to a system analysis to provide directives, which should be used to specify, build and test the MEPA on site. In order to provide that, system requirements are defined and the elaborated results end in a 3D-CAD model with all functional operations designed.

Selbständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Masterarbeit selbständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Stellen sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch nicht veröffentlicht.

Bremen, 09.06.2020



Unterschrift

Inhaltsverzeichnis

Abstract	I
Selbständigkeitserklärung	I
Abbildungsverzeichnis.....	IV
Tabellenverzeichnis	VII
Nomenklatur	VIII
Aufgabenstellung	XII
1. Einleitung und Motivation.....	1
2. Theoretische Hintergründe	3
2.1. Anwendungsbereiche für das MEPA System	3
2.2. Entwicklung und Aufbau kontrollierter Pflanzenanbausysteme	5
2.3. Theoretische Grundlagen hydroponischer Systeme.....	10
2.3.1. Nährstoffmanagement in hydroponischen Systemen.....	12
2.3.2. Einfluss von pH- und EC-Wert auf die Nährstoffaufnahme.....	16
2.3.3. Wasseraufbereitung durch Entkeimungsmethoden	17
2.4. Stand der Technik	20
3. Systemanalyse der MEPA – Mobile Entfaltbare Pflanzenanbaueinheit.....	24
3.1. Aufbau des MEPA Systems	24
3.1.1. Automatisierte Versorgungseinheit – ASU.....	25
3.1.2. Entfaltbare Außenstruktur – IGS	26
3.1.3. Kultivierungsmatte – SCM	26
3.1.4. Frischwassertank – FWT	27
3.2. Bestehendes Konzept für das MEPA-System.....	28
3.3. Weiterführende Entwicklung des MEPA Konzepts	28
3.3.1. Systemanforderungen	31
4. Auslegung und Berechnung der Zielparameter	35
4.1. Definition geometrischer Randbedingungen.....	35

4.2. Auslegung der Kultivierungsmatte SCM	37
4.2.1. Auslegung des Pflanzenadapters PI.....	40
4.3. Auslegung der Strukturhülle IGS.....	42
4.4. Auslegung des Frischwassertanks FWT	43
4.5. Auslegung der Versorgungseinheit ASU	45
4.5.1. Auslegung der Entkeimung.....	46
4.5.4. Auslegung der Sauerstoffversorgung	49
4.5.3. Auslegung der Nährstoffversorgung	51
4.5.4. Auslegung der Energieversorgung.....	59
4.6. Leitungen und Anschlüsse	65
5. Komponentenauswahl und Modellierung	68
5.1. Komponentenauswahl für die ASU	68
5.2. Materialauswahl	77
5.3. Fertigungsverfahren.....	79
5.4. Transport, Gewicht und Biomassenoutput.....	82
5.5. Aufbau des Konstruktionsmodells	87
6. Diskussion.....	94
6.1. Ausblick	96
Literaturverzeichnis.....	99
Anhang	102
Datenblattsammlung	102
Dateisammlung CAD-Modell.....	102

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Verlauf des durchschnittlichen Leistungsbedarfs und Verbrauchsspitzen über die Tageszeit des EDEN Moduls in der Antarktis mit deutlichem Anstieg während aktiver Beleuchtung; Quelle: [16].....	8
Abb. 2: Gliederung der Hydroponik-Systeme nach Funktionsweise der Bewässerungsmethode; Quelle: [19].....	10
Abb. 3: Nährstoffverfügbarkeit für Pflanzen in Abhängigkeit des pH-Werts mit Unterteilung in Mengenelemente, Spurenelemente und Metalle; Quelle: [21]	16
Abb. 4: Die Gründungsmitglieder Gitelson und Lisovsky in der BIOS-3 Einrichtung am Institut für Biophysik in Krasnojarsk, Sibirien; Quelle: [25].....	20
Abb. 5: Die Forscher Yorio und Ruffe in der Biomass Production Chamber am Kennedy Space Center in Florida; Quelle: [25].....	21
Abb. 6: EDEN CEA-System in der Antarktis mit Ansicht der Anbauflächen; Quelle: dlr.de.....	21
Abb. 7: VEGGIE Forschungsmodul an Bord der ISS; Quelle: nasa.gov	22
Abb. 8: Zeitlicher Verlauf der Anbauflächen für FM Pflanzenanbausysteme; Quelle: [26]	22
Abb. 9: Vertikaler Anbau der Firma Sky Greens in Singapur unter Ausnutzung des Sonnenlichts mit rotierenden Anbauflächen; Quelle: [27]	23
Abb. 10: Medizinische Anbaueinheit VertiPharm mit Pflanzen auf Förderband (links) und die kostengünstigere Projektausgliederung OrbiPlant mit Jalousie-Rotation (rechts) am Fraunhofer IME in Aachen; Quelle: vertical-farming.net.....	23
Abb. 11: Übersicht zur Einteilung der MEPA Subsysteme; Quelle: Eigenanfertigung	24
Abb. 12: Darstellung mehrerer MEPA Systeme im Transportmodus und das Entfalten bis zum Betriebsmodus; Quelle: [28]	25
Abb. 13: Konzeptzeichnung des MEPA-Systems mit ASU, geschlossenem Anzuchtschlauch, künstlicher Beleuchtung und undefinierter SCM; Quelle: [28].....	28
Abb. 14: Anordnung der Schwimmkörperstruktur auf der Trägerfolie der SCM für gesicherten Auftrieb der Pflanzenadapter; Quelle: Eigenanfertigung	39
Abb. 15: Aufbau des Pflanzenadapters mit (von unten nach oben) Fixierfolie, Wurzelsubstrat inkl Saatgut, SCM-Trägerfolienteilausschnitt und wasserlöslicher Folie; Quelle: Eigenanfertigung.....	40
Abb. 16: Versuchsaufbau zur Ermittlung geeigneter Wurzelsubstrate für die Anwendung für das MEPA System; Quelle: [35]	41
Abb. 17: CAD-Modell der SCM mit Folienwanne und Trägerfolie (grün), Schwimmkörperstruktur (hellgrün), Pflanzenadapter innerhalb der Schwimmerkreise (blau) und eingeschweißter	

Zuflussleitung für einen verzögerten Aufenthalt sauerstoffhaltiger Luft; Quelle: Eigenanfertigung	42
Abb. 18: Anwendungsbeispiele für tragende und entfaltbare Luftstrukturen aus Folienmaterial der Firmen Festo (links) und Heimplanet (rechts) als Vorbild für die Umsetzung der IGS; Quellen: festo.com und heimplanet.com	43
Abb. 19: CAD-Modell der IGS mit segmentierter Röhrenstruktur und versorgungsseitiger Einsparung; Quelle: Eigenanfertigung	43
Abb. 20: CAD-Modell des FWT mit Einbuchtung zur Versorgungsseite; Quelle: Eigenanfertigung.....	44
Abb. 21: Blockdiagramm zur Visualisierung des Funktionsablaufs der ASU; Quelle: Eigenanfertigung	45
Abb. 22: Einstellung des flüchtigen Ozongehalts in Wasser auf 70 mg nach zweistündiger Betriebszeit der Ozonzellen; Quelle: Eigenanfertigung	48
Abb. 23: Querschnitt einer Venturi Düse mit Ansaugung; Quelle: erweitert aus [39]	49
Abb. 24: Bottlecrop Anzuchteinheit für Blattsalat; Quelle: bottlecrop.com	54
Abb. 25: Auszug YaraTera Fertilcare Düngeschema für Salat; Quelle: [42]	55
Abb. 26: Blockdiagramm der ASU Funktionen mit alternativer Nährstoffversorgung per Spülstein; Quelle: Eigenanfertigung	56
Abb. 27: Konzeptioneller Nährstoff-Spülstein mit wechselnder Zusammensetzung nach Wachstumsphase; Quelle: Eigenanfertigung.....	57
Abb. 28: Energieschaltung inkl. Verlustfaktoren in einem typischen System mit direkter Energieübertragung (DET) mit η_c = Wirkungsgrad Ladegerät, η_b = Wirkungsgrad Batterie, η_d = Wirkungsgrad Dioden, η_{1-4} = Wirkungsgrad Leitungen; Quelle: Nachempfindung [43]	60
Abb. 29: Bag-in-Box Behälter aus geschweißter Folienstruktur mit starrem Anschluss als Anschweißadapter, Zapfhahn und alternativen Gewindeadapter; Quellen: [44] [45]	66
Abb. 30: Flüssigkeitspumpe NF 600 KPDCB; Quelle: knf.com	68
Abb. 31: UV-Leuchte Purion 500 zur FWT Entkeimung mit frei wählbarer Flussrichtung; Quelle: purion.de	69
Abb. 32: Ozon-Mikrozelle INNOVATEC Gerätetechnik mit 4 Zellherzen (links) sowie dem Einbauprinzip in eine Rohrleitung (rechts); Quelle: innovatec-rheinbach.de	69
Abb. 33: Venturi-Rohr zur Teichbelüftung; Quelle: joom.com	70
Abb. 34: Luftfilter Iso-Gard aus Anwendung in Medizintechnik mit antibakteriellem Schutz; Quelle: c2med.de	71
Abb. 35: Wasserfiltergehäuse Infiltec Typ Causa Clear CLD (links) mit Kunststofffilterkerze (mitte) und Edelstahlfilterkerze (rechts); Quelle: infiltec.de	71
Abb. 36: Kapazitiver Füllstandssensor T/LL130; Quelle: contec-filtration.de	72

Abb. 37: Durchflusssensor SFAW für flüssige Medien; Quelle: festo.com	73
Abb. 38: Leitfähigkeitssonde Typ 8221 2-Elektroden; Quelle: buerkert.de.....	73
Abb. 39: pH-Sonde Typ 8203 FLATRODE pH 120 zur Einschraubung in 1“ Sensorhalterung; Quelle: buerkert.de.....	73
Abb. 40: Mikropumpe Flüssigkeitsdosierung SP 570 EC-L mit 4 mm Schlauchtüllen; Quelle: schwarzer.com	74
Abb. 41: HCVU Rückschlag-Ventil mit metrischer Steckverbindung; Quelle: wassertechnik.pro	74
Abb. 42: 24V DC Magnetventil 3/2-Wege direkt gesteuert mit 13 mm Öffnungsdurchmesser; Quelle: jaks.si	75
Abb. 43: Solarzelle Triple Junction GaInP/GaAs/Ge auf Ge-Substrat mit TiOx/Al ₂ O ₃ - Antireflexbeschichtung und 34 % Wirkungsgrad vom Typ TJ 3T34C; Quelle: azurspace.com	75
Abb. 44: Batterie LiFePO ₄ 24V 50Ah 1280Wh inkl. Bemaßung als Speicher der Solarenergie und Versorgung der el. Komponenten bei Nacht; Quelle: relionbattery.com.....	76
Abb. 45: Laderegler CIS-N-MPPT 85/15 mit max. 250W Photovoltaik-Leistung und automatischer Erkennung der Systemspannung inkl. Bemaßung; Quelle: phocos.com	76
Abb. 46: Wurzelsubstrat als Torfquelltabs mit Netz umspannt zur Anzucht des Saatguts; Quelle: gbk-shop.de	78
Abb. 47: Ultraschall-Schweißgerät für die Anwendung des Hochfrequenzschweißens an Kunststofffolien; Quelle: jentschmann.ch	80
Abb. 48: Laufrad-Aufsatz für durchgängige 3,5 mm Schweißnaht; Quelle: jentschmann.ch	81
Abb. 49: Laufrad-Aufsatz für durchgängige 10 mm Schweißnaht; Quelle: jentschmann.ch	81
Abb. 50: Stanz- und Schweißpresse "EP3 Manuelle Öseneinsetzmaschine"; Quelle: carmo.dk	81
Abb. 51: Packvolumen aus 75 MEPA-Einheiten für den Transport in einem 40' Container; Quelle: Eigenanfertigung	82
Abb. 52: Szenenbeispiel für Anbaufläche aufgestellter MEPA Einheiten auf unfruchtbarem Boden; Quelle Eigenanfertigung	83
Abb. 53: Gesamtaufbau im CAD-Modell der MEPA mit transparenter ASU, halb bestückter SCM und u.a. hervorgehobenem Eingangskanal inkl. Bemaßung; Quelle: Eigenanfertigung	88
Abb. 54: Leitungsverlauf (SCM grün, FWT blau, Füllstandsensoren rot) zw. SCM, FWT und offengelegter ASU mit eingeschweißtem Eingangskanal zur Förderung von gelöstem Sauerstoff in Wasser durch Verzögerten Luftaufenthalt, und Folienmembran zum Schutz der Füllstandsensoren vor Feststoffen; Quelle: Eigenanfertigung.....	88
Abb. 55: ASU Rückseite mit ausgefahrenen Solarmodulen, eingelassener Nasszelle und Anschlüssen für den Einlass und Auslass; Quelle: Eigenanfertigung	89
Abb. 56: Komponentenordnung innerhalb der ASU; Quelle: Eigenanfertigung	89

Abb. 57: Seitliche Ansicht der ASU-Komponenten mit Fokus auf den herausnehmbaren Nährstoff- bzw. Säure/Base-Tanks, die mit individuellen Profilen und Farbkodierung versehen sind, um Verwechslungen möglichst auszuschließen; Quelle: Eigenanfertigung.....	90
Abb. 58: Innenansicht der ASU mit abgesenkter Bodenplatte unter den Füllstandsensoren für möglichst tiefe Sensorposition; Quelle: Eigenanfertigung	90
Abb. 59: MEPA im Transportmodus inkl. Bemaßung mit eingefalteten Folienkomponenten (inkl. PI, Saatgut) sowie Solarpanelen und mit Spanngurten umspannt. Mit den seitlich eingelassenen Tragegriffen soll die Einheit von zwei Personen händisch getragen werden können; Quelle: Eigenanfertigung	91
Abb. 60: MEPA im Transportmodus; Quelle: Eigenanfertigung.....	91
Abb. 61: MEPA mit entfalteten Folienkomponenten; Quelle: Eigenanfertigung	92
Abb. 62: MEPA mit Luft befüllter IGS und ausgefahrenen Solarmodulen; Quelle: Eigenanfertigung ..	92
Abb. 63: MEPA mit befülltem FWT; Quelle: Eigenanfertigung	93
Abb. 64: Betriebsbereite MEPA mit vollständig angeschlossenen Komponenten und umgeleitetem Wasser in die SCM; Quelle: Eigenanfertigung	93
Abb. 65: MEPA mit erntereifer Salat-SCM; Quelle: Eigenanfertigung	94
Abb. 66: Anwendungsimpression der MEPA für Raumfahrtmissionen als provisorischer Aufbau in ausgeräumtem Frachter unter künstlicher Beleuchtung; Quelle: modifiziert aus esa.int	97
Abb. 67: Pflanzenanbaueinheit als geschlossenes System, durch eine Schleuse begehbar, inkl. Wasserrückgewinnung, Atmosphärenkontrolle, Tropfbewässerung und mit Substrat befüllten Wurzelkissen; Quelle: Waldemar Cekusov	98

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht zum Vergleich der Vor- und Nachteile eines CEA-Systems; Quelle: Eigenanfertigung.....	9
Tabelle 2: Einteilung der Wurzelelektivität für essenzielle Pflanzennährstoffe; Quelle: [20].....	13
Tabelle 3: Nährstoffzusammensetzung aus Bestandteilen pflanzlicher Trockenbiomasse abgeleitet, hier differenziert nach Pflanzenteilen einer Tomatenpflanze; Quelle: [20]	14
Tabelle 4: Vergleich einer Hoagland Lösung mit einer Nährlösung für Tomaten mit niedriger Transpiration. Das System ist initial mit der Start Lösung befüllt. Die vegetative Nachfüllung wird während dem Blatt- und Stammwachstum verwendet. Nachdem die Blätter aufhören zu wachsen, wird die Nachfüllung zur Fruchtbildung genutzt; Quelle: [20]	15

Tabelle 5: Pflanzengruppeneinteilung von EC-Grenzwerten nach Salzverträglichkeit; Quelle: [22]	17
Tabelle 6: Gegenüberstellung der Vor- und Nachteile eines separierten FWT und einem in der SCM integrierten Wasserreservoirs	30
Tabelle 7: Zusammenfassung der Systemanforderungen an das MEPA-System.....	31
Tabelle 8: Eigenschaften zum Anbau verschiedener Pflanzenkulturen; Quellen: [30] [31] [32] [33]...	36
Tabelle 9: Wasserverbrauch für ausgewählte Kulturen und deren Anzahl an Wachstumszyklen, die mit einer FWT Befüllung möglich sind; Quelle: abgeleitet von Tabelle 8.....	44
Tabelle 10: Verbrauchsangaben zu Salat pro erzeugter Trockenbiomasse; Quelle: [33]	51
Tabelle 11: Entwicklung der Hoagland-Nährstoffzusammensetzung 1938 – 1984; Quelle: [21]	52
Tabelle 12: Ausgangsstoffe und deren Konzentrationen zur Herstellung einer Hoagland-Nährstofflösung mit resultierendem Gesamtgewicht der Feststoffkomponenten pro Liter Lösung; Quelle: Eigenanfertigung	53
Tabelle 13: Yara Rezepturübersicht hydroponischer Düngemittel nach Kultursorte; Quelle: [42]	55
Tabelle 14: Vergleich Vor- und Nachteile zur Umsetzung der Nährstoffversorgung mit Feststoff- oder Flüssigdünger; Quelle: Eigenanfertigung.....	58
Tabelle 15: Leistungsangaben zu den Verbrauchern der ASU	62
Tabelle 16: Zu berücksichtigende Verlustfaktoren zur Auslegung eines DET-Systems	62
Tabelle 17: Vollständige Stückliste und Gewichtsangaben des Gesamtsystems; Quelle: Eigenanfertigung.....	83

Nomenklatur

Variable	Einheit	Bezeichnung
V	m^3	Volumen in Kubikmeter
m	kg	Masse in Kilogramm
λ	nm	Wellenlänge in Nanometer
c	mol/l	Stoffmengenkonzentration in Mol pro Liter
EC	dS/m	Elektrische Leitfähigkeit in Dezisiemens pro Meter
T	$^{\circ}C$	Temperatur in Grad Celsius

Variable	Einheit	Bezeichnung
A	m^2	Fläche in Quadratmeter
E	$\frac{kg}{m^2 \cdot d}$	Transpirationsrate in Kilogramm pro Quadratmeter und Tag
T _d	d	Dauer des Wachstumszyklus in Tagen
F	N	Kraft in Newton
ρ	kg/m^3	Dichte in Kilogramm pro Kubikmeter
\dot{m}_{O_3}	mg/h	Ozonmassenstrom in Milligramm pro Stunde
$T_{1/2}$	min	Halbwertszeit in Minuten
t	min	Zeit in Minuten
N	-	Teilchenzahl
p	Pa	Druck in Pascal
v	m/s	Strömungsgeschwindigkeit in Meter pro Sekunde
M	g/mol	Molare Masse in Gramm pro Mol
η	-	Wirkungsgrad
E _{index}	Wh	Energie in Wattstunde
P	W	Leistung in Watt
Ma	-	Machzahl
Q	l/min	Volumenstrom in Liter pro Minute
c_{H_2O}	m/s	Schallgeschwindigkeit in Wasser in Meter pro Sekunde

Abkürzung	Bedeutung	Abkürzung	Bedeutung
MEPA	Mobile Entfaltbare Pflanzenanbaueinheit	SVET	Russ. „Licht“ Pflanzenanbaueinheit
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt	BPS	Biomass Production System
CEA	Controlled Environment Agriculture	ABRS	Advanced Biological Research System
EC	Electrical Conductivity	APH	Advanced Plant Habitat
EDEN	Evolution & Design of Environmentally- Closed Nutrition- Sources	BOL	Beginning of Life (Inbetriebnahme)
ISS	International Space Station	IME	Institut für Molekularbiologie und angewandte Ökologie
CRS	Commercial Resupply Services	ASU	Automated Support Unit
NASA	National Aeronautics and Space Administration	IGS	Inflatable Grow Structure
USD	US-Amerikanische Dollar	SCM	Seed Cultivation Mat
LEO	Low Earth Orbit	FWT	Fresh Water Tank
FAO	UN Food and Agriculture Organization	NDS	Nutrient Delivery System
IPCC	Special Report on Climate Change and Land	PCDS	Power Control and Distribution System
WFP	UN World Food Programme	DHCS	Data Handling and Control System
PAR	Photosynthetically Active Radiation	PI	Plant Interface
LED	Light Emitting Diode	DWC	Deep Water Culture
EDDHA	Ethylendiamin-di-(ortho)-Hydroxyphenylacetat	DET	Direct Energy Transfer System
EDTA	Ethylendiamintetraacetat	DOD	Depth of Discharge
DTPA	Diethylentriaminpentaessigsäure	BiB	Bag in Box
UV	Ultraviolett	Al	Aluminium
DNS	Desoxyribonukleinsäure	EVOH	Ethylenvinylalkohol

Abkürzung	Bedeutung	Abkürzung	Bedeutung
RNS	Ribonukleinsäure	PVOH	Polyvinylalkohol
BIOS	Biosphären-Projekt (UdSSR)	EPDM	Ethylen-Dien-Monomerkautschuk
BPC	Biomass Production Chamber	PP	Polypropylen
FM	Flight Model	PE	Polyethylen
EM	Engineering Model	HDPE	High Density Polyethylen
VEGGIE	Vegetable Production System	ISO	Internationale Organisation für Normung
OASIS	Observation and Analysis of Smectic Islands in Space	DIN	Deutsches Institut für Normung e. V.
PGU	Plant Growth Unit	BPS	Biomass Production System
		ATV	Automated Transfer Vehicle

Aufgabenstellung

Die MEPA – Mobile Entfaltbare Pflanzenanbaueinheit ist ein Projekt des DLR und stellt einen Beitrag der EDEN Initiative des Instituts für Raumfahrtssysteme zur fachübergreifenden Anwendung von kontrollierten Pflanzenanbausystemen CEA dar. Ziel dieses Projekts ist besonders die Unterstützung von terrestrischen Krisengebieten mit frischen Nahrungsmitteln, die vor Ort und unabhängig von dortigen Begebenheiten produziert werden können. Weiterhin soll das Projekt zur Anwendung für den Aufenthalt im Weltraum genutzt werden, um einer Besatzung für einen längeren Missionszeitraum im Raumtransport, bis hin zum Aufenthalt auf einer extraterrestrischen Station, die Lebenserhaltung unterstützend zu gewährleisten. Weitere Anwendungsmöglichkeiten bilden von Desertifikation betroffene Regionen sowie urbane Gebiete.

Hierfür werden bestehende Konzepte der MEPA analysiert und weiterentwickelt. Bei der Auslegung und Konstruktion liegt der Fokus auf der Mobilität des Systems, sowie dessen Einfachheit im Aufbau und in der Bedienung. Eine Kultivierungsmatte bildet das Kernelement des Systems und ist Hauptbestandteil dieser Arbeit.

Im Rahmen dieser Masterarbeit soll versucht werden, folgende Ziele zu erreichen:

- Definition voranalytischer Designaspekte
- Hydroponisches System
- Auslegung einer Kultivierungsmatte
- Interface zwischen Pflanze und Kultivierungsmatte
- Interaktionslose Nährstoffversorgung
- Justierung von pH- und EC-Wert im Wasserkreislauf
- Auswahl geeigneter Folienmaterialie/Schweißverfahren für entfaltbare Komponenten

Genauere Informationen zu MEPA sind dabei aus den entsprechenden Berichten und im Austausch mit den Mitgliedern im Team EDEN in Erfahrung zu bringen. Das Team hat mit der Umsetzung des Projekts EDEN-ISS bereits jahrelange Erfahrungen im Bereich CEA sammeln können, woraus das Konzept für MEPA entstanden ist.

Ergebnis der Arbeit soll ein Bericht mit dem Vorgehen und dessen Dokumentation sein, sodass die Ergebnisse für die weitere Entwicklung der MEPA genutzt werden können.

1. Einleitung und Motivation

Um bemannte Raumfahrtmissionen zukünftig mit einem Aufenthalt auf einer Mond- oder Marsstation zu realisieren, spielt die Versorgung der Besatzung mit Nahrungsmitteln eine unverzichtbare Rolle. Da ein regelmäßiger Nachschub mit Ressourcen von der Erde zu einer Station mit hohem Aufwand und Kosten verbunden ist, soll die Besatzung in der Lage sein, sich vor Ort möglichst autark versorgen zu können. Hierfür dienen Konzepte aus dem Bereich der kontrollierten Pflanzenanbausysteme (*Controlled Environment Agriculture* CEA), die eine Installation eines weltraumgerechten Gewächshauses auf einer Station ermöglichen.

Die Anzahl an verfügbaren Astronauten und deren Arbeitszeit ist besonders in den ersten Phasen für einen Stationsaufbau sehr begrenzt, weshalb einer Besatzung die Arbeit für die Aufzucht, Pflege und Ernte von Pflanzen erleichtert werden soll und mit einem entsprechendem Anbausystem dazu beigetragen wird, die benötigte Arbeitszeit so weit wie möglich zu verringern.

Ein solches System ist auch für die terrestrische Anwendung von hohem Nutzen. Die weltweite Desertifikation nimmt als Folge der Erderwärmung zu. Dadurch schrumpft die nutzbare Anbaufläche für Nahrung und die wachsende Weltbevölkerung verlangt gleichzeitig nach einer höheren Produktion. Beispielsweise wurde in Kapstadt, der Hauptstadt Südafrikas, 2018 der Wasser-Notstand ausgerufen, was zur Folge hatte, dass den rund 500.000 Einwohnern ein Verbrauchslimit von 50 l pro Tag und Person auferlegt wurde. Ein Szenario, das in Zukunft weitere Gebiete ereilen wird. Dem entgegenzuwirken, verlangt einen ressourcenschonenden Umgang mit Wasser und speziell in der Landwirtschaft ist die Effizienz im Verbrauch noch zu großen Teilen ausbaufähig.

Ein weiterer Bezug wird durch die Anwendung in Krisengebieten aufgezeigt. Diese existieren und werden weiterhin gebildet, sei es zur Folge von Umwelteinflüssen oder der Flucht vor Krieg. Die Nahrungsversorgung in entsprechenden Auffanglagern stellt dabei stets eine Problematik dar und auch hier kann mit einem entsprechend mobilen, verbrauchs- und aufwandsarmen Pflanzenanbausystem Abhilfe geleistet werden.

Das *Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt* DLR gründete 2011 am Institut für Raumfahrtssysteme die Forschungsinitiative *Evolution & Design of Environmentally-Closed Nutrition-Sources* EDEN, die sich seither mit der Entwicklung von CEA Gewächshaus-Modulen

und deren Integration in Weltraum-Habitaten befasst. Die Forschungsgruppe kann sich somit auf langjährige Erfahrung stützen, die sie nicht zuletzt mit der Umsetzung des Projektes EDEN-ISS erlangen konnte. Das Projekt umfasst zum einen ein Gewächshaus, das in der Antarktis die dortige Polarforschungsstation *Neumayer-Station III* mit frischen Erzeugnissen aus einer aeroponischen Anbaumethode versorgt. Zusätzlich beinhaltet das Projekt ein Forschungsmodul, das auf der *Internationalen Raumstation ISS* zum Einsatz kommt.

Aus der gewonnenen Expertise ist die Konzeptidee für die *Mobile Entfaltbare Pflanzenanbaueinheit* MEPA entstanden, deren Entwicklung im Rahmen dieser Systemanalyse vorangetrieben wird. Das System zielt auf die einleitend erwähnten Anwendungsgebiete ab und zeichnet sich durch eine hohe Mobilität aufgrund einer kompakten und entfaltbaren Struktur und der daraus folgenden Unabhängigkeit des Betriebsortes, sowie durch die Einfachheit im Aufbau und der Nutzung des Systems aus. Das Alleinstellungsmerkmal und sogleich Kernstück der Einheit bildet eine folienbasierte Kultivierungsmatte, in der bereits Samen, Nährstoffe und Versorgungskanäle integriert sind. Nach einer initialen Befüllung mit Wasser durchläuft das System einen gesamtheitlichen Wachstumszyklus und kommt dabei ohne weitere Interaktion bis zur Ernte aus. Die Kultivierungsmatte folgt einem simplen *Plug & Grow* Ansatz und kann anschließend ausgetauscht werden.

In der vorliegenden Arbeit werden zunächst theoretische Hintergründe beleuchtet, indem ein Rückblick in Bezug auf die Entwicklung von CEA Systemen gegeben wird, die theoretischen Grundlagen behandelt werden und gezeigt wird, wie sich der heutige Stand dieser Technologie entwickelt hat. Die Hauptbestandteile dieser Arbeit folgen mit der analytischen Auslegung und der anschließenden Konstruktion der MEPA Komponenten. Dabei werden bedeutende Aspekte der Subsysteme aufgegriffen und im Einzelnen beleuchtet. Eine Auswertung wird in Bezug auf die Aufgabenstellung gegeben, um aufzuzeigen, inwiefern die Anforderungen erfüllt sind. Daraus werden Designentscheidungen getroffen, die für die Konstruktion von Relevanz sind. Abschließend wird das Erarbeitete in einer Diskussion aufgegriffen und ein Ausblick gewährt. Dieser enthält Anmerkungen, die für die zukünftige Weiterentwicklung, Fertigung und Inbetriebnahme der Einheit eine Rolle spielen werden, aber auch darüber hinaus auf weiterführende Technik und Gestaltungsmöglichkeiten hinweisen.

2. Theoretische Hintergründe

In diesem Kapitel werden zunächst die möglichen Anwendungsgebiete für das MEPA System skizziert. Im Weiteren werden die Grundlagen der CEA Technologie erläutert und Beispiele bereits bestehender Anwendungen aufgezeigt.

2.1. Anwendungsbereiche für das MEPA System

Es ist eine Selbstverständlichkeit, dass Nahrung eine lebensnotwendige Komponente für den menschlichen Organismus darstellt. Jedoch ist die Bereitstellung dieser in einigen Situationen keineswegs trivial. In der bemannten Raumfahrt begeben sich Raumfahrer in eine lebensfeindliche Umgebung, dessen Zugang für eine Nahrungsversorgung mit hohen Kosten und einem immensen technischen Aufwand verbunden ist.

Im Rahmen der *Commercial Resupply Services* von 2012 bis 2020 (CRS-1) lässt sich die amerikanische Raumfahrtbehörde *National Aeronautics and Space Administration* NASA pro Kilogramm an Versorgungsgütern für die ISS 63.200 USD kosten [1]. Hierbei sind zwar Entwicklungskosten für die verwendeten Raumtransporter enthalten, aber für exemplarische Missionen, wie beispielsweise zum Mars, gelten wiederum höhere Ansprüche an die technische Umsetzung, womit Kosten für die Entwicklung weiterhin generiert werden und nicht zu vernachlässigen sind. Auch wenn Firmen wie *SpaceX* mit der Wiederverwendung von Raketentufen und weiteren kostensenkenden Faktoren einen Preis von 5.400 USD/kg Nutzlast mit ihrem Schwergewicht *Falcon Heavy* zum Mars verspricht [2], fällt eine Fracht mit Lebensmitteln weit teurer aus. Geeignete Frachter, die den nötigen Ansprüchen für die Konservierung unter bedrückter Atmosphäre gerecht werden, nehmen einen Großteil der verfügbaren Nutzlast ein. Zum Vergleich kostet der Start einer *Falcon 9* Trägerrakete 62 Mio. USD um eine Nutzlast von 22.800 kg (2.700 USD/kg) in die niedrige Erdumlaufbahn LEO zu bringen. Selbige Rakete inklusive der *Dragon* Kapsel, die nur noch 6.000 kg Versorgungsgüter fasst, kostet pro Flug zur ISS bereits 150 Mio. USD (25.000 USD/kg) [3]. Mit derartigen Verausgabungen steht der Aufwand externer Versorgungen in einem ungleichen Verhältnis zu einer Selbstversorgung der Astronauten und einer damit einhergehenden Unabhängigkeit auf einer Station oder Basis. Im besten Fall ist der Pflanzenanbau in einen geschlossenen Kreislauf eines Lebenserhaltungssystems

eingegliedert, in welchem die Wasseraufbereitung von Pflanzen zumindest ergänzt werden kann und die Stoffwechselprodukte von Mensch und Pflanze gegenseitig dienlich sind.

Nicht nur im Weltraum, sondern auch auf unserer Erde ist es nötig, eine effizientere Nutzung der Wasserressourcen für die Landwirtschaft anzustreben. Laut der *Food and Agriculture Organization of the United Nations* FAO werden auf globaler Ebene 69 % des verfügbaren Süßwassers in der Landwirtschaft verbraucht und damit werden nur 40 % der weltweiten Nahrungsmittel erwirtschaftet [4]. Die bewässerten Anbauflächen machen dabei 20 % der gesamten Nutzfläche aus. Durch Einflüsse der Klimaerwärmung wird eine Bewässerung auf immer mehr Nutzflächen nötig und somit wird eine steigende Tendenz des Süßwasserverbrauchs angegeben, die bis zum Jahr 2050 einen Mehrverbrauch von 19 % prognostiziert [5].

Den herkömmlichen Bewässerungsmethoden mangelt es sowohl an Effizienz, als auch an einer Voraussicht bezüglich der Umweltbelastung. Überschüssige Wassermengen in offenen Bodenkulturen befördern Dünge- und Pestizidrückstände in das Grundwasser und lagern sich auf ihrem Versickerungsweg zudem in die oberen Bodenschichten ein. Die Folge ist eine geringere Bodenqualität aufgrund von Salzakkumulation [6].

Die Desertifikation breitet sich aus und vernichtet dabei fruchtbare Anbauflächen. Notstandssituationen wie die akute Wasserknappheit in Kapstadt 2019 [7] nehmen zu und treten häufiger auf. Der aktuelle *Special Report on Climate Change and Land* IPCC (2019) berichtet, dass 38,2 % der Weltbevölkerung in Trockengebieten lebt. Betroffene Gebiete sind von Armut gezeichnet und der Feldanbau gilt vermehrt als Existenzgrundlage, wodurch die Desertifikation besonders schwere Ausmaße hinterlässt [8].

Die Folgen der Klimaerwärmung gehen über die Austrocknung des Bodens durch Dürreperioden hinaus. Es kommt häufiger zu Naturkatastrophen in Form von Stürmen und Überschwemmungen, die große Landflächen untauglich für Landwirtschaft, oder vollständig unbewohnbar machen. Aber auch in konfliktbehafteten Ländern werden immer wieder Bevölkerungsmassen dazu getrieben, sich auf die Flucht zu begeben. Die entstehenden Auffanglager in besagten Krisengebieten sind oft schwer zugänglich, was einen hohen Aufwand bei der Bereitstellung einer notwendigen Infrastruktur für eine Nahrungsversorgung

mit sich bringt. Die weltweit agierende humanitäre Organisation WFP (*UN World Food Programme*) hat laut eigenen Angaben täglich rund 5.000 Lastwagen, 20 Frachtschiffe und 92 Flugzeuge im Einsatz, um jährlich 86,7 Millionen Menschen in 83 Ländern mit Versorgungsgütern zu erreichen [9]. Dieses Ausmaß fordert eine gestaffelte Verteilung der Güter zunächst in Lagerhallen, von wo aus die Versorgung der betroffenen Gebiete in Angriff genommen wird. Da eine geschlossene Kühlkette nicht gewährleistet werden kann, reduziert sich die Versorgung auf Grundnahrungsmittel mit ausreichender Lagerfähigkeit sowie abgepackten und konservierten Lebensmitteln. Frisches Obst und Gemüse ist ausgeschlossen [10].

Der Begriff *Urban Farming* erfreut sich an steigendem Interesse. Mit der innerstädtischen Bepflanzung von Flächen, die prädestiniert für hydroponische Anwendungen sind, sollen Alternativen zur Nahrungsversorgung geschaffen werden, die mit langen Transportwegen behaftet sind. Es eignen sich Dächer, aber auch Wände für das sog. *Vertical Farming*, die mit herkömmlichen Anbaumethoden nicht bepflanzt werden können. Über diesen Ansatz kann trotz dicht bebauter Gebiete eine lokale Versorgung bereitgestellt werden.

2.2. Entwicklung und Aufbau kontrollierter Pflanzenanbausysteme

Die exponentiell ansteigende Weltbevölkerung und deren Ernährung hat die traditionelle Landwirtschaft an den Rand ihres Möglichen getrieben und gilt als Antrieb für die Entwicklung einer effizienteren Produktion. Um Nahrungsdefiziten entgegenzuwirken, haben sich Techniken entwickelt, die natürliche Umgebung der Nutzpflanze mit technischen Mitteln für ein verbessertes Wachstum anzupassen. Dazu zählen beispielsweise künstliche Be- und Entwässerung, Abschattung, Windschutz und die Anwendung von Düngemitteln. Einige Methoden reichen bis in die Antike zurück, wie die schwimmenden Gärten in China, andere verfolgen einen wissenschaftlicheren Ansatz und sind aus neuzeitlichen Errungenschaften abgeleitet. So ist es seit der Entdeckung des Haber-Bosch-Verfahrens Anfang des 20. Jahrhunderts möglich, durch die Ammoniaksynthese eine künstliche Nährstoffversorgung gezielt an die Pflanze und deren Bedürfnisse anzupassen. Es kann im Einzelnen jedoch nicht von einer kontrollierten Umgebung gesprochen werden, sondern mehr von einer Modifizierung

der natürlichen Abläufe. Die Natur ist noch immer der ausschlaggebende Faktor und limitiert durch Jahreszeiten, Klimazonen, Bodenbeschaffenheit etc. inwieweit der Ertrag in einer bestimmten Umgebung gesteigert werden kann. Erst durch die Auskopplung der gesamten Umwelteinflüsse ist das Pflanzenwachstum als vollständig kontrollierbar anzusehen. In einem geschlossenen System können die Einflüsse gezielt verändert und an die Wachstumsphase der Pflanze angepasst werden. Die im Folgenden aufgeführten Faktoren gilt es hierbei zu berücksichtigen.

Belichtung

Licht ist die Grundvoraussetzung für die Pflanze, um Photosynthese zu betreiben. Die Anzahl der auftreffenden Photonen pro Fläche bestimmt die Lichtintensität und damit die zur Verfügung gestellte Energiemenge, die das Pflanzenwachstum ermöglicht. Zusätzlich hat die Zusammensetzung des verwendbaren Lichtspektrums PAR (Photosynthetically Active Radiation, 380-780 nm), sowie in manchen Fällen die Photoperiode und deren Verhältnis von Hell zu Dunkel einen Einfluss auf das Wachstum [12].

Temperatur

Jede Pflanzenspezies besitzt ihren individuellen Temperaturbereich, der für ein optimales Wachstum sorgt. Generell gilt, je höher die Temperatur, desto schneller kann die Photosynthesereaktion ablaufen, wobei eine individuelle Obergrenze nicht zu überschreiten ist. Pflanzen beinhalten ihr eigenes Kühlsystem. Über Transpiration, der Verdunstung des von den Blättern abgegebenen Wassers, tritt ein Kühleffekt ein. Künstlich erzeugte Konvektion durch Luftzirkulation begünstigt diesen Prozess [11]. In einem geschlossenen System ist es möglich, das transpirierte Wasser über Kondensation zurückzugewinnen und wieder in das Bewässerungsreservoir einzuspeisen. Andernfalls wirkt sich die Korrelation zwischen Temperatur und Transpirationsrate auf den Wasserhaushalt des Systems aus und ist bei der Planung der benötigten Wassermengen zu berücksichtigen.

Atmosphärenzusammensetzung

Konvektion trägt auch zu einem verbesserten Gasaustausch bei. Bei der Photosynthese wird das in unmittelbarer Umgebung der Pflanzenoberfläche befindende Kohlenstoffdioxid

aufgenommen und umgewandelt. Eine ruhende Atmosphäre würde in dieser Zone einen lokalen CO₂-Mangel hervorrufen, der den Reaktionsprozess verlangsamt. Ein weiterer Vorteil eines stetigen Gasaustausches ist die Prävention gegen die Bildung von Schimmelpilzen. Eine gebräuchliche Methode ist die zusätzliche Anreicherung der Atmosphäre mit CO₂, was zu einer effizienteren Ausnutzung des Photosynthese-Potentials führt und somit zu einer Ertragssteigerung [13].

Luftfeuchtigkeit

Die relative Luftfeuchtigkeit ist stark abhängig von der Temperatur. Warme ausgedehnte Luft hat eine bessere Aufnahmefähigkeit von Wasserdampf. Kühlt die Luft ab, schlägt sich im Umkehrschluss Kondensat nieder. Nähert sich der Wasseranteil in der Luft einem gesättigten Zustand an, sinkt die Transpirationsrate, da das verdunstende Wasser an der Pflanzenoberfläche nicht weiter in die Atmosphäre übergehen kann. Zu feuchte Luft kann ebenso ein Auslöser von Schimmelbildung sein. Andererseits sorgt eine ausreichende Luftfeuchtigkeit für die zusätzliche Wasseraufnahme aus der Luft über die Blätter und wirkt dem Austrocknen entgegen [14].

Wurzelzone

Über die Wurzeln wird nahezu das gesamte Wasser für den Haushalt der Pflanze aufgenommen. Die Nährstoffe sind entweder bereits in einem Wurzelmedium enthalten und werden dort durch das Wasser gelöst, oder sie werden in Form einer Nährlösung über die Bewässerung bereitgestellt. Für die Wurzelatmung wird Sauerstoff benötigt, der durch eine gute Durchlüftung der Wurzeln bereitgestellt wird. Um diese Faktoren zu kontrollieren, existiert eine breite Variation von Ansätzen zur Nutzung verschiedener Wurzelmedien. Diese reichen von natürlicher Erde über künstliche Medien bis hin zur Kultivierung ganz ohne Substrat, bei welcher die Wurzeln direkt mit der Nährlösung in Kontakt gebracht werden. Letzteres wird mit dem Begriff Hydroponik bezeichnet und ist Bestandteil des anschließenden Kapitels *2.3. Theoretische Grundlagen hydroponischer Systeme*, in welchem die Funktionsweisen näher erläutert werden.

Um die genannten Faktoren aufeinander abzustimmen und im Gleichgewicht zu halten, ist für den Betrieb eines CEA-Moduls eine Reihe an Sensorik zur Überwachung der Parameter bzw.

Aktuatoren für deren Anpassung unabdingbar. Der hohe Automatisierungsgrad bringt auch hohe Kosten mit sich und im Vergleich zur traditionellen Landwirtschaft auf dem Feld oder in einfachen Gewächshäusern, ist mit einem hohen Energiebedarf zu rechnen. In der Raumfahrt ist aufgrund von Alternativlosigkeit eine gewisse Komplexität eines Anbausystems vorauszusetzen, jedoch ist bei der terrestrischen Anwendung verstärkt abzuwägen, inwieweit der Kostenfaktor und Energieaufwand gegenüber einer Produktionssteigerung rentabel ist. Hauptverbraucher bei gesamtheitlich kontrollierbaren Modulen ist der Gebrauch von künstlicher Beleuchtung. Die Verwendung von Metall-Hochdruck-Lampen und Natriumdampflampen wird zukünftig weitestgehend durch den Einsatz von LEDs ersetzt, welche einen signifikant höheren Wirkungsgrad aufzeigen und in der Variation des Lichtspektrums eine vielseitigere Anwendungsmöglichkeit bieten. Die rasante Entwicklung dieser Technologie verspricht eine Senkung von Kosten und Energieverbrauch [15]. In *Abb. 1* ist am Beispiel des totalen Leistungsbedarfs des EDEN Moduls in der Antarktis veranschaulicht, welcher Anteil des Energieverbrauchs in aktuellen CEA Systemen auf die künstliche Beleuchtung zurückzuführen ist. Es ist deutlich zu erkennen, dass sich der Leistungsbedarf während den 16 von 24 Stunden mit aktiver Beleuchtung ca. verdoppelt.

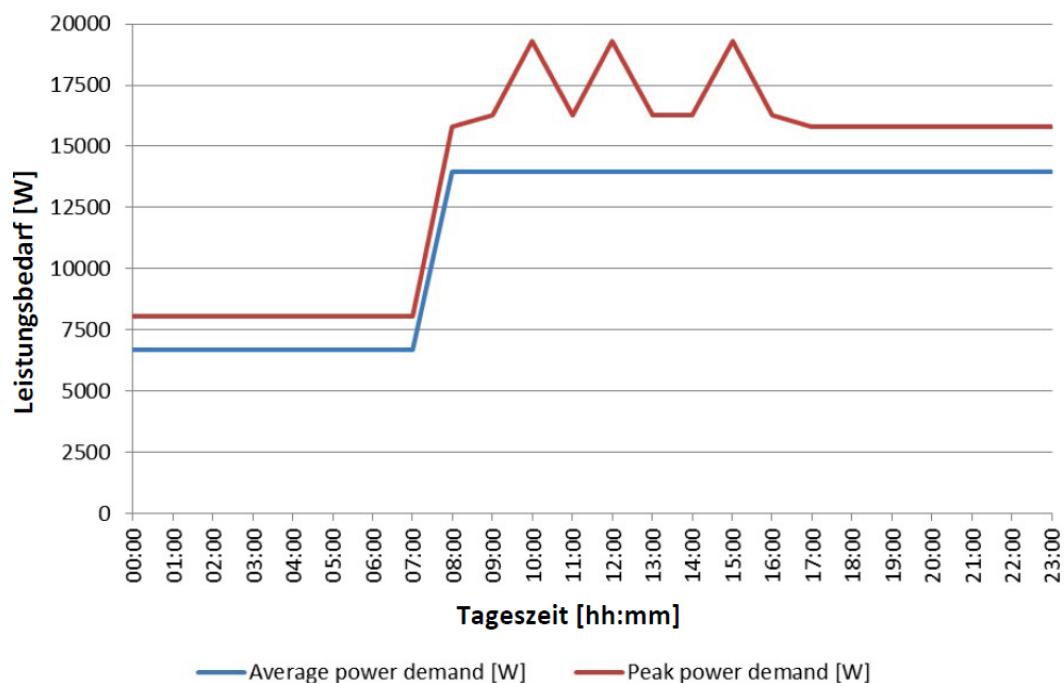


Abb. 1: Verlauf des durchschnittlichen Leistungsbedarfs und Verbrauchsspitzen über die Tageszeit des EDEN Moduls in der Antarktis mit deutlichem Anstieg während aktiver Beleuchtung; Quelle: [16]

Bei fortlaufender Kostensenkung für die künstliche Beleuchtung überwiegt die Ertragssteigerung bei geringerem Wasserverbrauch. CEA-Technologien ermöglichen eine Steigerung des Biomasseoutputs mit einem bis zu 60 % erhöhten Ertrag bei gleichzeitiger Verkürzung des Kultivierungsprozesses mit einer bis zu 30 % schnelleren Produktion. Der Wasserverbrauch kann idealerweise bis zu 95 % reduziert werden [17]. Weiterhin bleibt die Option bestehen, künstliche Beleuchtung als erweiterte Lichtquelle ergänzend zum Sonnenlicht einzusetzen, um die Betriebskosten zu senken.

Auch über die terrestrische Anwendung hinaus, bieten CEA-Systeme eine Versorgung mit geringem Arbeitsaufwand. Beispielsweise beträgt das Arbeitspensum in einem frühen Gewächshaus-Modul für den Mond bzw. Mars nur eine halbe Arbeitskraft, um eine dortige Station mit einer Besatzung von zehn Mitgliedern zu versorgen [18].

Für eine Übersicht der Vor- und Nachteile eines CEA-Systems sind die Einzelheiten in nachfolgender *Tabelle 1* aufgelistet.

Tabelle 1: Übersicht zum Vergleich der Vor- und Nachteile eines CEA-Systems; Quelle: Eigenanfertigung

Vorteile	Nachteile
Hohe Kultivierungsdichte	Hohe Anschaffungskosten
Optimale Umgebungsbedingungen	Energieverbrauch
Schutz vor Umwelteinflüssen (Ernteaussfall)	Komplexer Aufbau
Hoher Automatisierungsgrad	Geringe Fehlertoleranz
Geringer Arbeitsaufwand während Betrieb	Anfälligkeit für technische Defekte
Ortsunabhängigkeit	Teilweise technische Vorkenntnisse nötig
Verzicht auf Pestizide, bodenschonend	
Geringer Wasserverbrauch	
Höherer Ertrag in kürzerer Zeit	

2.3. Theoretische Grundlagen hydroponischer Systeme

Hydroponik bezeichnet eine Art der Pflanzenkultivierung, bei der das Wurzelwachstum nicht im Erdreich stattfindet, sondern die Wurzeln über ein Reservoir mit Wasser in Kontakt kommen. Für die Stabilität der Pflanze wird entweder ein inertes Substrat zur Durchwurzelung verwendet, oder es kommt eine Halterung zum Einsatz, durch die das Wurzelsystem freigelegt ist. Die Methoden sind nach der Funktion gegliedert, auf welcher Art die Wurzeln mit Wasser, Nährstoffen und Sauerstoff in Kontakt gebracht werden. Abb. 2 zeigt die Gliederung.

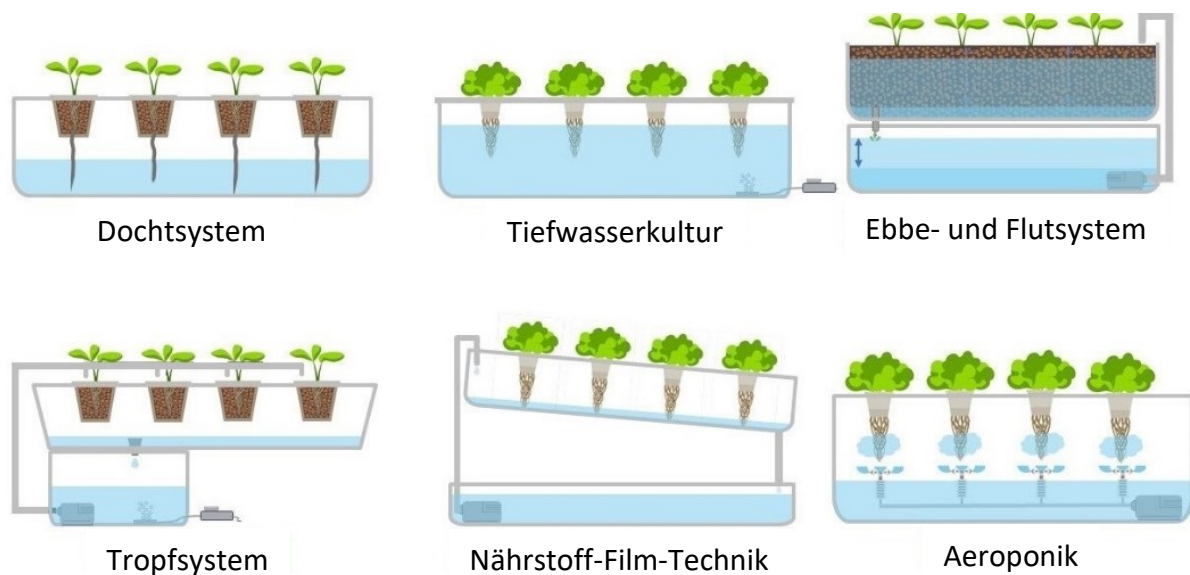


Abb. 2: Gliederung der Hydroponik-Systeme nach Funktionsweise der Bewässerungsmethode; Quelle: [19]

Dochtsystem

Über die Kapillarkwirkung steigt Wasser über einen Docht von einem Reservoir in das Wurzelsubstrat auf. Das System ist passiv konzipiert und zeichnet sich durch einen simplen Aufbau aus und ist weitgehend wartungsarm. Die Nährstoffe sind entweder im Wasser gelöst, oder als Feststoff im Substrat gelagert. Die Wurzelatmung geschieht ohne zusätzliche O₂-Versorgung, da das Wurzelsubstrat nicht mit Wasser geflutet ist und somit eine ausreichende Durchlüftung vorliegt. Durch die begrenzte Transportfähigkeit eines Dochtes, ist das System allerdings vergleichsweise ineffizient.

Tiefwasserkultur

Die Tiefwasserkultur ist ähnlich dem Dochtsystem aufgebaut und beinhaltet auch dessen Vorteile hinsichtlich Aufbau, Passivität und Wartungsarmut. Das Wurzelsystem liegt jedoch direkt in einer Nährlösung, was zu einer besseren Aufnahme führt und sich signifikant auf den Ertrag auswirkt. Der ununterbrochene Zugang zu Wasser und Nährstoffen wirkt sich aber negativ auf die Wurzelatmung aus, was bei einem rein passiv betriebenen System zur Algenbildung und Wurzelfäule führt. Demnach ist es nötig, eine aktiv betriebene Belüftung zu integrieren, um dem O₂-Mangel entgegenzuwirken.

Ebbe- und Flutsystem

Bei dem Ebbe- und Flutsystem werden die Wurzeln in einem gesonderten Pflanzenbehälter (mit oder ohne Substrat) in bestimmten Zeitintervallen aktiv mit Wasser geflutet. Während der Flutung können Nährstoffe aufgenommen werden und nachdem das Wasser in ein Reservoir zurückgeflossen ist, liegt wieder genügend Umgebungsluft zur Atmung vor. Die Intensität der Bewässerung kann somit gesteuert und an die Pflanze angepasst werden, was eine breitere Auswahl der zu kultivierenden Pflanzen ermöglicht. Da es sich um ein aktives System handelt, ist der Aufbau komplexer gestaltet und zusätzliche Komponenten führen zu höheren Kosten und Wartungsaufwand.

Tropfsystem

Über Schlauchabzweigungen wird jede Pflanze einzeln und tropfenweise mit Wasser bzw. Nährlösung versorgt. Bei dem aktiven System wird durch eine Pumpe eine kontinuierliche Bewässerung bereitgestellt, die eine präzise Dosierung der Versorgung gestattet. Überschüsse können gesammelt und zurückgeführt werden. Allerdings ist es nicht trivial, den Wasserdruck über ein längeres Schlauchsystem konstant zu halten, weshalb unterschiedliche Einstellungen der Ausgänge je nach Lauflänge notwendig sind. Ebenso können sich Ablagerungen in den Schläuchen bilden, was wiederum einen erhöhten Wartungsaufwand bedeutet.

Nährstoff-Film-Technik

Diese Technik basiert auf einem Gefälle des Pflanzenbehälters, wodurch ein Wasser- und Nährstofffilm an den Wurzeln entlangfließt. Der aufgefangenen Lösung wird aktiv durch eine

Pumpe wieder das Höhenpotential verliehen. Die Bauweise ist gut für eine platzsparende Anordnung in der Vertikalen geeignet. Fällt die Pumpe jedoch aus, ist die Versorgung direkt unterbrochen, da kein Speichermedium vorhanden ist. Ebenso können zu große Wurzelsysteme den Ablauf blockieren, weshalb das System eher für kleinere Pflanzen geeignet ist.

Aeroponik

Die Aeroponik zählt zu den effizientesten, aber auch komplexesten Systemen in der Hydrokultur. Die in der Luft hängenden Wurzeln werden mit der von Düsen zerstäubten Nährlösung besprüht. Nicht absorbierte Flüssigkeit kann sofort wieder abtropfen und aufgefangen werden. Dadurch und mit dem ohnehin sauerstoffhaltigen Sprühnebel, ist eine herausragende Wurzelatmung gegeben, was wiederum die Nährstoffaufnahme und den Ertrag steigert. Viele Einzelteile machen den Aufbau komplex und bieten Möglichkeiten für Schwachstellen. Die Düsen und Leitungen sind anfällig für Ablagerungen und sind daher mit hoher Wartung verbunden.

In jedem der Fälle ist es vorteilhaft, das Wasser bzw. die Nährlösung zirkulieren zu lassen. Damit wird übermäßige Algenbildung vermieden und es kann eine stetige Anreicherung mit genügend Sauerstoff gewährleistet werden. Ebenso ist eine bessere Kontrolle über den Nährstoffgehalt und den pH-Wert der Lösung möglich, da die Konvektion eine homogene Verteilung begünstigt und somit beispielsweise keine lokale Versalzung auftritt. Der Nährstoffgehalt kann über die elektrische Leitfähigkeit EC des Mediums ermittelt werden. Entsprechende Sensoren für den pH- und EC-Wert können demzufolge an einer einzelnen Schnittstelle die gesamte Überwachung des Systems übernehmen.

2.3.1. Nährstoffmanagement in hydroponischen Systemen

Die Bereitstellung der Nährstoffkomponenten bei einer hydroponischen Kultivierung ist eine Herausforderung, der besondere Aufmerksamkeit zu geben ist. Anders als im Erdreich oder in Substraten mit einem mikrobiologischen Organismus, ist bei der substratlosen Aufzucht im Wasser kein Pufferverhalten gegeben. Abweichungen bei der Zugabe von Nährstoffen von der

idealen Konzentration können schnell zu Defiziten oder toxischen Erscheinungen im Pflanzenwachstum führen. Hinzu kommt, dass sich der Nährstoffbedarf mit den Wachstumsphasen ändert, worauf die Konzentrationen der hinzugefügten Elemente abgestimmt werden sollte.

An der US-amerikanischen *Utah State University* wird seit 1986 unter der Leitung von *Bruce Bugbee* an dem Gebiet der rezirkulierenden Nährlösungen in hydroponischen Systemen geforscht. Die erzielten Resultate sind weitläufig in der hiesigen Literatur aufgenommen und u.a. hat *Bugbee* in Zusammenarbeit mit der *NASA* bei der Entwicklung des Pflanzenanbaus im Weltraum mitgewirkt. Für das Nährstoffmanagement verfolgt er das Prinzip des Massengleichgewichts, bei welchem die Masse der Nährstoffe entweder in einer Lösung, oder in der Pflanze vorhanden ist [20]. Dies bedeutet, dass die Konzentration einer Lösung nicht zwangsweise gleichbleiben sollte, denn schneller aufgenommene Elemente seien bereits in der Pflanze als Reserve eingelagert und ein stetiger Konzentrationsausgleich in der Lösung würde eine maßlose Aufnahme und einen Überschuss im Gesamtsystem verursachen. Die Aufnahmeraten der wesentlichen Nährstoffe sind dabei in drei Gruppen aufgeteilt, die in *Tabelle 2* aufgeführt sind.

Tabelle 2: Einteilung der Wurzelelektivität für essenzielle Pflanzennährstoffe; Quelle: [20]

Gruppe 1: Aktive Aufnahme, schnelle Entnahme aus Lösung	NO ₃ , NH ₄ , P, K, Mn
Gruppe 2. Mittlere Aufnahme	Mg, S, Fe, Zn, Cu, Mo, Cl
Gruppe 3. Passive Aufnahme, langsame Entnahme aus Lösung	Ca, B

Die Wachstumsphasen einer Pflanze können ebenso in drei Abschnitte aufgeteilt werden und sind charakteristisch für die Entwicklung verschiedener Pflanzenteile. In der ersten Phase, dem frühen vegetativen Wachstum, wird primär Blattgewebe ausgebildet. Gefolgt von dem späten vegetativen Wachstum, bei welchem zu gleichen Teilen Blatt- und Stammgewebe produziert wird. Bei blühenden Pflanzen folgt die reproduzierende dritte Wachstumsphase, in welcher der Nährstofftransfer zur Umwandlung in Früchte oder Samen priorisiert ist. Die Ausbildung von Wurzeln findet hauptsächlich in der frühen vegetativen Phase statt und ist sehr viel weniger in der späten vegetativen Phase ausgeprägt, bis sie während der reproduzierenden Phase sogar zum Stillstand kommt [20].

Betrachtet man die einzelnen Pflanzenteile und deren Nährstoffkonzentrationen einer optimal ausgewachsenen Pflanze, wird ersichtlich, welche Nährstoffe je nach Wachstumsphase verstärkt aufgenommen wurden. Als Beispiel dient eine Tomatenpflanze, deren Nährstoffkonzentrationen in *Tabelle 3* nach den Pflanzenteilen gegliedert sind.

Tabelle 3: Nährstoffzusammensetzung aus Bestandteilen pflanzlicher Trockenbiomasse abgeleitet, hier differenziert nach Pflanzenteilen einer Tomatenpflanze; Quelle: [20]

%	Blatt	Stamm	Frucht	Wurzel	mg/kg	Blatt	Stamm	Frucht	Wurzel
N	4	1,5	3	3	Fe	100	40	100	800*
P	0,5	0,2	0,5	0,2	Mn	75	20	50	25
K	4	3	4	2	B	30	10	30	5
Ca	2	0,5	0,2	0,2	Zn	30	20	30	30
Mg	0,6	0,1	0,2	0,2	Cu	10	2	10	10
S	0,4	0,3	0,2	0,2	Mo	2	1	1	1
<i>*Eisen setzt sich an der Wurzeloberfläche ab</i>					Cl	100	100	100	1

Die Angaben in *Tabelle 3* lassen sich in Konzentrationen der benötigten Nährlösungen für die drei Wachstumsphasen übertragen. Hierfür wird das Verhältnis zwischen transpiriertem Wasser und produzierter Biotrockenmasse herangezogen. Die Transpiration bestimmt die Rate der Wasserentnahme und das Wachstum bestimmt die Rate der Nährstoffentnahme aus der Lösung. Typische Verhältnisse von Transpiration zu Wachstum für hydroponisch betriebene Systeme liegen bei 200 – 400 l/kg Trockenmasse [20] und sind in erheblichem Maße von der vorherrschenden Luftfeuchtigkeit abhängig. In dem hier dargelegten Beispiel wird von einer hohen Luftfeuchte, also von einem Verhältnis an der unteren Grenze mit 200 l/kg ausgegangen.

Tabelle 4 zeigt die Nährstoffkonzentrationen dreier Lösungen, die den Wachstumsphasen entsprechen und vergleicht diese mit einer traditionell für Tomaten verwendeten *Hoagland* Lösung.

Tabelle 4: Vergleich einer Hoagland Lösung mit einer Nährlösung für Tomaten mit niedriger Transpiration. Das System ist initial mit der Startlösung befüllt. Die vegetative Nachfüllung wird während des Blatt- und Stammwachstums verwendet. Nachdem die Blätter aufhören zu wachsen, wird die Nachfüllung zur Fruchtbildung genutzt; Quelle: [20]

[mmol/l]	Hoagland Lösung	Start Lösung	Vegetativ Nachfüllung	Fruchtbildung Nachfüllung
N	7,5	3	6	3
P	0,5	0,6	0,5	0,5
K	3	3	5	5
Ca	2	2	2	0,3
Mg	1	1	1	0,3
S	1	1	0,6	0,3
[μmol/l]	Hoagland Lösung	Start Lösung	Vegetativ Nachfüllung	Fruchtbildung Nachfüllung
FeCl₃	50	5	5	5
EDDHA Chelat*	0	25	5	5
Mn	4,5	10	15	3
B	23	20	20	20
Zn	0,4	5	2	2
Cu	0,15	1	1	1
Mo	0,05	0,1	0,05	0,05
Cl	9	15	15	15
Si**	0	100	100	0

*Moderne chelatbildende Verbindungen wie EDDHA (Ciba-Geigy 138Fe) bewirken, dass Eisen in der Lösung verbleibt und geringere Mengen hinzugefügt werden müssen.

**Silikate sind in hydroponischen Lösungen meist nicht enthalten, jedoch reich in allen Pflanzen aus der Feld-Ernte zu finden. Sie schützen vor Insekten und Krankheitserregern, sowie vor toxischen Metallen.

Das Beispiel anhand der Tomatenpflanze zeigt den aufwändigsten Fall mit drei Wachstumsphasen. Das Verfahren der molekularen Zerlegung ist auf alle Pflanzen anwendbar und somit kann der Nährstoffbedarf individuell bestimmt werden. Oft findet in wissenschaftlichen Versuchsaufbauten die *Hoagland*-Lösung praktische Anwendung, da sie universell einsetzbar ist und allein die Verdünnung an die jeweilige Kultursorte anzupassen ist.

2.3.2. Einfluss von pH- und EC-Wert auf die Nährstoffaufnahme

Der pH-Wert gibt die Konzentration der Wasserstoff-Ionen H^+ bzw. der Hydroxid-Ionen OH^- in der Nährlösung wieder. Ist das Verhältnis stark unausgeglich, beeinträchtigt dies die Lösung indem die Nährstoffzusammensetzung ungewollte Verbindungen eingeht, oder die Reaktionsfreudigkeit bzw. die Freigabe oder Aufnahme von Ionen gemindert ist, was insgesamt zu einer geringeren Bioverfügbarkeit führt und die Nährstoffaufnahme hemmt. Eine weitere Folge ist die Akkumulation einzelner Bestandteile in toxischen Mengen [21]. *Abb. 3* veranschaulicht die Nährstoffverfügbarkeit in Abhängigkeit des pH-Werts. Die Graphik zeigt eine gute Aufnahme für die Makronährstoffe im neutralen Bereich und für die metallischen Mikronährstoffe eine Verschiebung des Optimums in eine saure Umgebung.

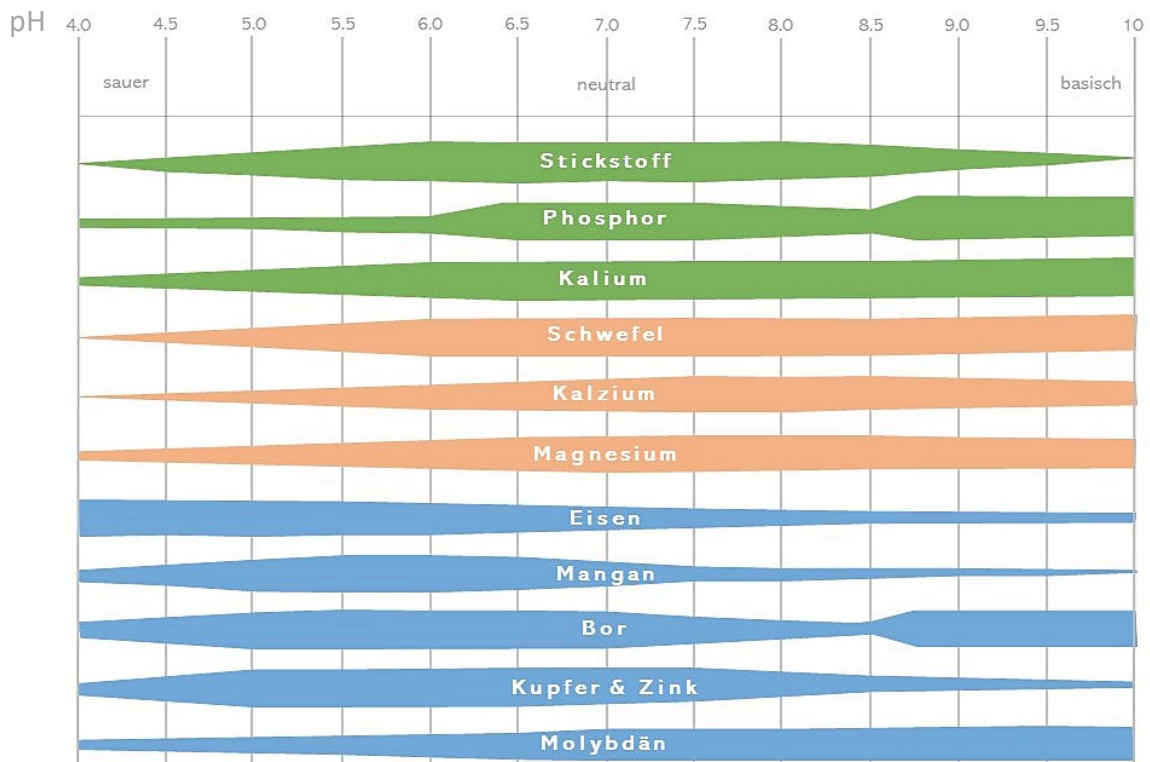


Abb. 3: Nährstoffverfügbarkeit für Pflanzen in Abhängigkeit des pH-Werts mit Unterteilung in Mengenelemente, Spurenelemente und Metalle; Quelle: [21]

Die Gesamtmenge an Nährstoffen in einer Lösung kann über den EC-Wert ermittelt werden, wobei die Leitfähigkeit in dem Medium hauptsächlich von den Konzentrationen für Calcium, Magnesium und Sulfate beeinflusst ist [20].

Die folgende *Tabelle 5* gliedert verschiedene Kultursorten in deren Salzverträglichkeit und gibt Richtwerte für den EC-Wert an.

Tabelle 5: Pflanzengruppeneinteilung von EC-Grenzwerten nach Salzverträglichkeit; Quelle: [22]

Salinität	EC [<i>dS/m</i>]	Kulturbeispiel
Empfindlich	1,4	Salat, Erdbeere
Moderat empfindlich	3,0	Tomate, Gurke
Moderat tolerant	6,0	Sojabohne, Süßgräser
Tolerant	10,0	Zuckerrübe, Baumwolle

In hydroponischen Systemen besteht kein Pufferverhalten, wie es bei natürlicher Erde vorhanden ist, weshalb Grenzwerte für den EC-Wert genaustens eingehalten werden sollten. Andernfalls droht der Pflanze eine Nährstoffvergiftung und es ist mit Ertragsdefiziten zu rechnen. Eine Unterversorgung kann hingegen direkt behoben werden. Da die Reaktion der EC-Messung auf Veränderungen der Lösungszusammensetzung träge ist, soll ein Messintervall von drei Messungen pro Woche ausreichen [20].

2.3.3. Wasseraufbereitung durch Entkeimungsmethoden

Die Entkeimung von Wasser spielt in der Trinkwasseraufbereitung eine große Rolle, findet aber ebenso Anwendung in der Raumfahrt für Lebenserhaltungssysteme oder eben für die Pflanzenproduktion bis hin zur Aquarienhaltung. Es eignen sich unterschiedliche Methoden, mit denen Reinheitsgrade von sterilem Wasser erreicht werden können, oder beispielsweise um die Ausbreitung eines Mikroorganismus in einem Teich zu kontrollieren. Entkeimungsanlagen für Pflanzengießwasser wirken meist vorbeugend, um Algenbildung, Bakterien, Pilze oder Viren zu vermeiden. Schädlinge werden abgetötet und die Entstehung derer verhindert, allerdings sind davon auch nützliche Organismen betroffen. *Amanita*-Pilzarten gehen bspw. eine Symbiose mit der Pflanzenwurzel ein, die beiden Spezies die Nährstoffaufnahme erleichtert. In hydroponischen Systemen ist es allerdings vorteilhaft für die Langlebigkeit und den Wartungsaufwand, Fremdorganismen auszugrenzen. Die üblichen Entkeimungsmethoden sind im Folgenden erläutert [23] [24] [17].

Chlorierung

Natriumhypochlorit NaClO wird dem Wasser beigemischt und es bildet sich eine hypochlorische Säure und eine Natronlauge. Die Säure ist sehr unbeständig, besitzt jedoch eine antimikrobielle Wirkung, wodurch Keime im Wasser abgetötet werden.

- Pro: Anwendung in trübstoffreichem Wasser
- Contra: Chlorierung hat Auswirkungen auf Pflanzen

Oxidation

Als Oxidationsmittel kann Chlor, Wasserstoffperoxid oder Ozon verwendet werden. Das Verfahren ist am Beispiel des Ozons vorgestellt. Das farblose Gas hat eine stark oxidierende Wirkung und ist in hohen Konzentrationen toxisch für Flora und Fauna. Es ist instabil und zerfällt zu dimerem Sauerstoff. Bei diesem Vorgang geht das Sauerstoffradikal Bindungen mit den umgebenden Stoffen ein. Findet die Oxidationsreaktion an der Bakterienmembran statt, wird deren Durchlässigkeit und damit der Stoffwechsel unterbrochen. Die Folge ist der Zelltod und das Bakterium zerfällt.

- Pro: hohe Wirksamkeit bei geringen, nicht toxischen Mengen
- Contra: Nicht lagerfähig bzw. muss vor Ort produziert werden

Ultraviolette Strahlung

Die UV-Strahlung umfasst den Wellenlängenbereich von 100 bis 400 nm und ist in UV-A, UV-B und UV-C Strahlung eingeteilt. Die kurzwellige und damit energiereichste UV-C Strahlung eignet sich besonders zur Entkeimung. Die beste keimabtötende Wirkung wird der Wellenlänge von 253,7 nm zugeschrieben. Die Strahlung wird in einer Quecksilberdampflampe erzeugt und von dem umströmenden Fluid absorbiert. Die UV-C Transmission bei Trinkwasser liegt in einem cm Abstand bei ca. 90 % und nimmt mit Verunreinigung stark ab, weshalb die Strömung möglichst nahe an der Leuchte vorbeigeleitet werden sollte. Werden Organismen bestrahlt, verlieren sie ihre Reproduktions- und Infektionsfähigkeit, indem das Erbgut (Desoxyribonukleinsäure DNS und die Ribonukleinsäure RNS) die UV-C Strahlung absorbiert und die Nukleinsäuren auf diese Weise zerstört werden.

Unterschiedliche Zellwandstrukturen erfordern eine angepasste UV-C Intensität bzw. Bestrahlungsdauer. Die letale Wirkung bspw. auf Schimmelpilze ist nach einer 10 bis 100-fachen Dosis für tierische Zellen erreicht. Sind die Grenzwerte nicht erreicht, kann es zur Photoreaktivierung, einem DNS-Reparaturmechanismus der Zelle kommen.

- Pro: keine Zusatzstoffe im Medium
- Contra: Trübung blockiert die Strahlung

Thermische Behandlung

Die thermische Entkeimung ist auch unter der Bezeichnung Pasteurisierung bekannt. Bei diesem Verfahren werden durch die kurzzeitige Erhitzung alle Keime abgetötet. Auch hier gelten Grenzwerte für unterschiedliche Mikroorganismen, die in einem Temperaturbereich zwischen 60 und 90 °C abgetötet werden.

- Pro: Hohe Zuverlässigkeit bei Unabhängigkeit vom Verschmutzungsgrad
- Contra: Thermische Behandlung benötigt externes Reservoir

Langsam-Filtration

Hierbei wird das Medium mit geringen Fließgeschwindigkeiten durch mehrere Filterschichten geleitet, die meist aus feinkörnigem Sand bestehen. Es bilden sich Ablagerungen in den Zwischenräumen, die stetig enger werden und so die Filtration erhöhen. Durch Abbauprozesse wird organische Substanz verringert. Es ist nur für geringe Verunreinigungen geeignet, da sich sonst organisches Material aufstaut.

- Pro: Passive Entkeimung
- Contra: Massive und großflächige Komponenten

2.4. Stand der Technik

Im Zuge der Erforschung des Weltraums haben CEA-Technologien einen Aufschwung erhalten. Der Aufenthalt im Weltraum und die Selbstversorgung für stationierte Raumfahrer gewinnt an Bedeutung. Wie so oft waren sowjetische Vertreter die Vorreiter in der Raumfahrt, und das auch auf diesem Themengebiet. Mit der 1972 eröffneten *BIOS-3* Einrichtung vom Institut für Biophysik in Sibirien wurde ein Grundstein für die Forschung an bioregenerativen Lebenserhaltungssystemen gelegt. *Abb. 4* zeigt das geschlossene Ökosystem.



Abb. 4: Die Gründungsmitglieder Gitelson und Lisovsky in der BIOS-3 Einrichtung am Institut für Biophysik in Krasnojarsk, Sibirien; Quelle: [25]

Von amerikanischer Seite wurde 1988 mit *NASAs Biomass Production Chamber BPC* ein großer Beitrag zur Anwendungsforschung geleistet. Die Einrichtung hat Ergebnisse vorgebracht, die heute als Richtlinien für hydroponische Anbausysteme gelten. *Abb. 5* zeigt einen Ausschnitt der 20 m² Anbaufläche im Inneren der BPC.



Abb. 5: Die Forscher Yorio und Ruffe in der Biomass Production Chamber am Kennedy Space Center in Florida; Quelle: [25]

Den jüngsten Beitrag stellt das *EDEN* Projekt unter Aufsicht des *DLR* in der Antarktis. Dort werden 268 *kg* Nahrungsmittel auf 12,5 *m*² innerhalb 9,5 Monaten produziert. Es besteht aus modifizierten und begehbaren Container-Modulen mit integrierter Schleuse und erlaubt die Überwachung und Aufzeichnung der vollständig geregelten Wachstumsprozesse. Abb. 6 zeigt das CEA-System von innen.



Abb. 6: *EDEN* CEA-System in der Antarktis mit Ansicht der Anbauflächen; Quelle: *dlr.de*

Auch Flugmodelle FM's kommen zum Einsatz und werden bspw. auf der *ISS* zur Beobachtung von Wachstum in Schwerelosigkeit verwendet. Erfolgreiche Ergebnisse liefert das aktuell an Bord genutzte *VEGGIE* Modul (s. *Abb. 7*), doch auch mit dem *EDEN ISS* Modul stehen vielversprechende Erfolge in Aussicht. Bisherige FM's weisen geringe Dimensionen auf. Mit einer größeren Nutzfläche ist die Eingliederung in die Versorgung der Besatzung möglich. Der Graph in *Abb. 8* zeigt die Annäherung an einen Quadratmeter Anbaufläche über die Zeit.

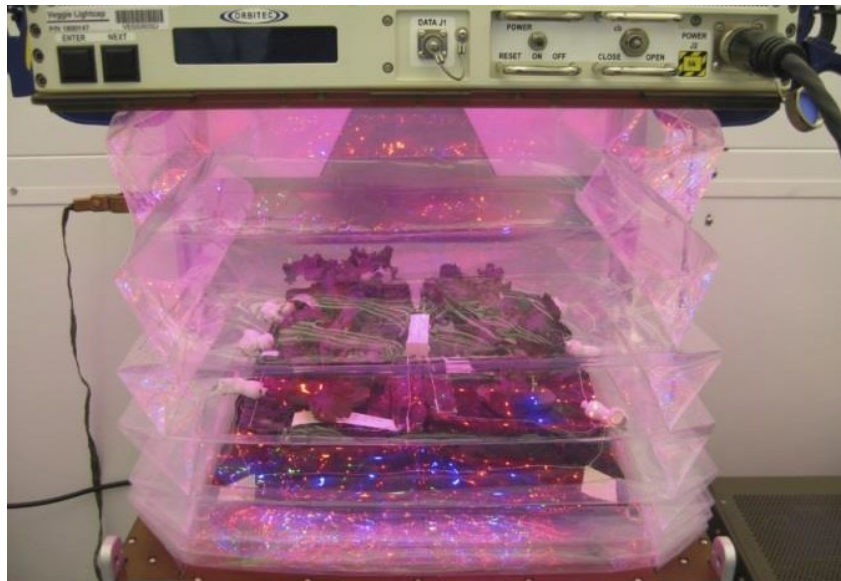


Abb. 7: VEGGIE Forschungsmodul an Bord der ISS; Quelle: nasa.gov

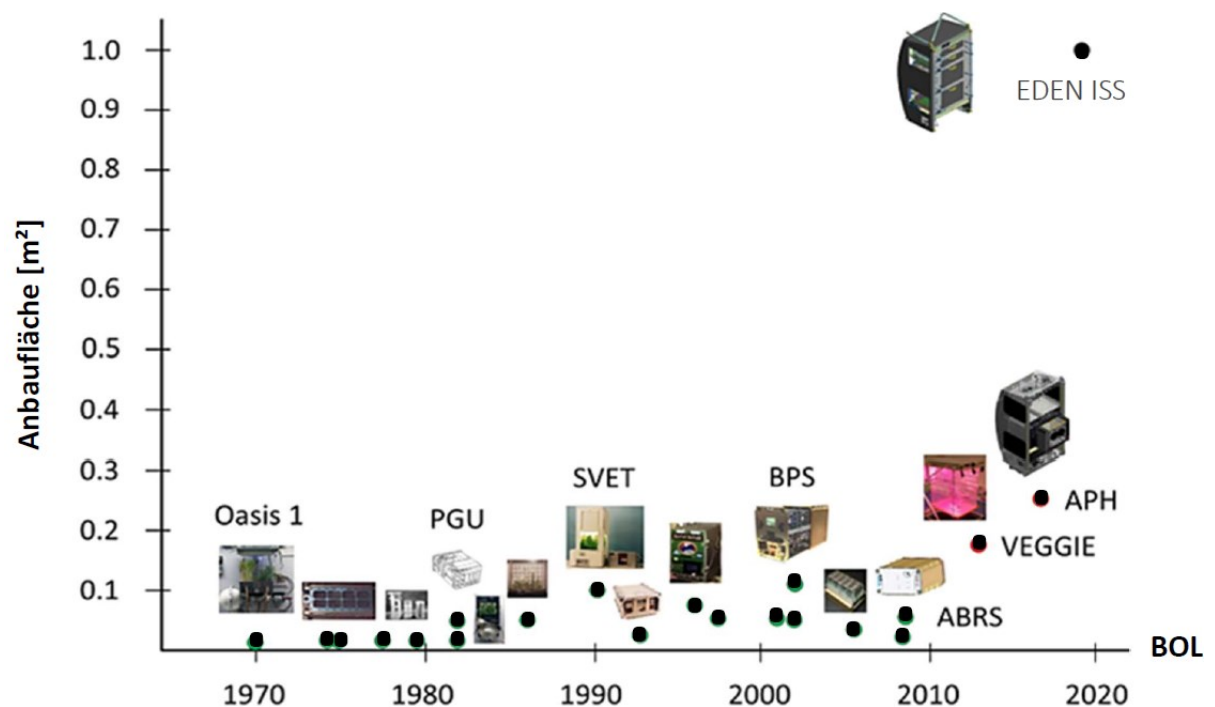


Abb. 8: Zeitlicher Verlauf der Anbauflächen für FM Pflanzenanbausysteme; Quelle: [26]

In der kommerziellen Anwendung haben automatisierte hydroponische Systeme längst Einzug erhalten. Die Firma *Sky Greens* in Singapur setzt auf den vertikalen Anbau und nutzt die Sonne als primäre Lichtquelle indem die Pflanzen auf den vertikalen Gerüsten rotieren und somit eine ausgeglichene Beleuchtung aller Pflanzen möglich ist. *Abb. 9* zeigt den Aufbau.



Abb. 9: Vertikaler Anbau der Firma Sky Greens in Singapur unter Ausnutzung des Sonnenlichts mit rotierenden Anbauflächen; Quelle: [27]



Abb. 10: Medizinische Anbaueinheit VertiPharm mit Pflanzen auf Förderband (links) und die kostengünstigere Projektausgliederung OrbiPlant mit Jalousie-Rotation (rechts) am Fraunhofer IME in Aachen; Quelle: vertical-farming.net

In der Medizintechnik kommen CEA-Systeme zum Anbau von medizinisch relevanten Pflanzen zum Einsatz. Das *Fraunhofer Institut für Molekularbiologie und angewandte Ökologie* IME in Aachen betreibt die Anlage *VertiFarm* gezielt zur Produktion von Arzneimitteln oder zu Studienzwecken. Die Pflanzenüberwachung per 3D-Scan erfasst morphologische Veränderungen und neben einer Vielzahl weiterer Sensorik, ist es möglich, Gene in Pflanzen einzusetzen, um neuartige Medikamente zu entwickeln. Aus einer Weiterentwicklung ist die kostengünstigere Einheit *OrbiPlant* entstanden. *Abb. 10* zeigt beide Varianten.

3. Systemanalyse der MEPA – Mobile Entfaltbare Pflanzenanbaueinheit

In diesem Kapitel ist der Aufbau der MEPA und deren Subsysteme erläutert. Des Weiteren ist ein Ausblick auf bestehende Konzepte gewährt, auf denen die weiterführende Entwicklung zu einem Prototyp in dieser Arbeit aufbaut. Das Kapitel schließt mit der für die Auslegung und Konstruktion zugrundeliegenden Definition der Systemanforderungen.

3.1. Aufbau des MEPA Systems

Eine Übersicht der eingeteilten Subsysteme ist in *Abb. 11* gegeben.

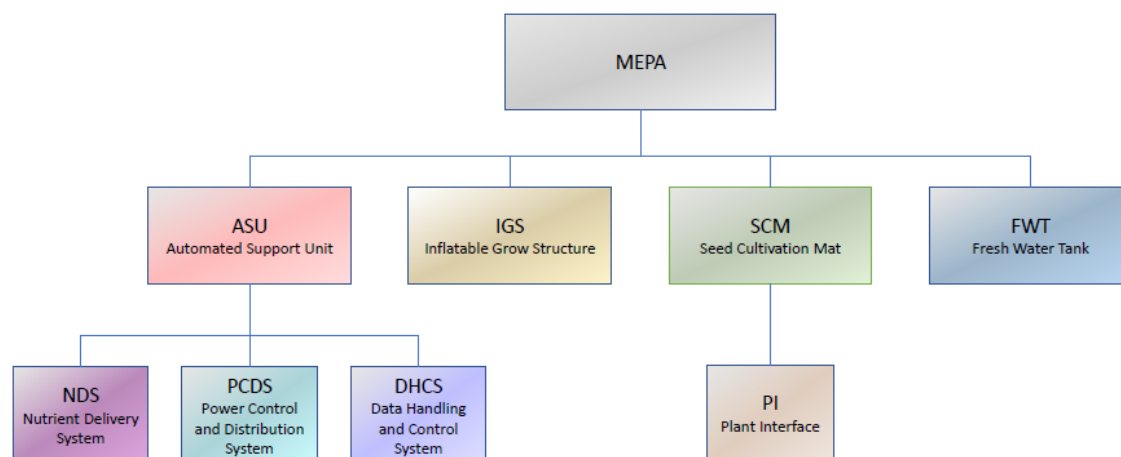


Abb. 11: Übersicht zur Einteilung der MEPA Subsysteme; Quelle: Eigenanfertigung

Das Gesamtsystem der MEPA ist in vier Subsysteme unterteilt, deren Erläuterung jeweils in einem Unterkapitel aufgeführt ist.

3.1.1. Automatisierte Versorgungseinheit – ASU

Die automatisierte Versorgungseinheit (engl. automated support unit ASU) beinhaltet alle nötigen Subsysteme, um die Bedingungen für ein einwandfreies Wachstum der Pflanzen zu gewährleisten. Die elektrischen Komponenten und alle weiteren Bestandteile zur Versorgung der Kultivierungsmatte sind in der ASU verbaut und es ist genügend Stauraum vorhanden, um während des Transports die zusätzliche Aufnahme einer weiteren SCM und von Ersatzteilen zu ermöglichen. Durch eine kompakte Bauweise ist zu gewährleisten, dass eine ökonomisch und ökologisch vertretbare Anzahl an Einheiten zugleich in einem Großraumbehälter Platz finden. An dem Zielort sollen keine weiteren Hilfsmittel benötigt werden, um eine einzelne Einheit manuell zu transportieren und diese an ihrem Bestimmungsort zu entfalten. In *Abb. 12* sind die beiden Modi im Transport und im entfalteten Zustand skizziert.

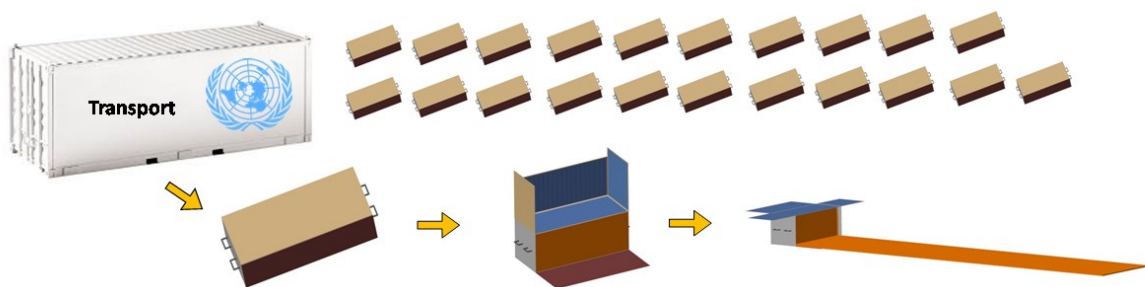


Abb. 12: Darstellung mehrerer MEPA Systeme im Transportmodus und das Entfalten bis zum Betriebsmodus; Quelle: [28]

Der Transport stellt ein Zeitfenster dar, in welchem unvorhersehbare Ereignisse eintreten können, die möglicherweise Auswirkungen auf den einwandfreien Betrieb der MEPA nach der Auslieferung hervorrufen. Um eventuelle Schäden durch den Transport frühzeitig zu erkennen, besteht die Möglichkeit, einen entsprechenden Container mit Messtechnik auszustatten, die übermäßige Stöße und Vibrationen aufzeichnet.

Nährstoffversorgungssystem – NDS

Das Nährstoffversorgungssystem (engl. nutrient delivery system NDS) ist verantwortlich für die auf die Pflanze abgestimmten Konzentrationen der Nährstoffkomponenten in der Nährlösung. Entscheidend für die Auslegung und Dimensionierung des NDS ist der vorliegende Aggregatzustand, in dem die Nährstoffkomponenten vorliegen. Eine Gegenüberstellung zweier Lösungsansätze ist in *Kapitel 4.5.3. Auslegung der Nährstoffversorgung* diskutiert.

Energieversorgungssystem – PCDS

Das Energieversorgungssystem (engl. power control and distribution system PCDS) sorgt für den Betrieb aller elektrischen Komponenten. Um frei von Abhängigkeiten agieren zu können, soll das Subsystem Solarenergie aufbereiten und in einen Energiespeicher einspeisen, dessen Kapazität ausreicht, um den Betrieb bei Nacht und bei eventuell auftretenden Störungen der Solarmodule weiter fortzuführen.

Datenverarbeitungs- und Kontrollsystem – DHCS

Das Datenverarbeitungs- und Kontrollsystem (engl. data handling and control system DHCS) sei an dieser Stelle der Vollständigkeit wegen aufgeführt und ist im Weiteren als Platzhalter behandelt. Neben den Funktionen zur Verarbeitung der Sensordaten, sind damit die Kreisläufe des Frischwassers und der Nährlösung, sowie alle damit verbundenen Aktuatoren zu steuern. Zur Überwachung der System- und Wachstumsparameter einer größeren Anzahl an MEPA Einheiten zugleich, besteht die Möglichkeit zur Ausstattung des DHCS mit einem drahtlosen Netzwerkzugang, um erfasste Daten zu einer zentralen Einrichtung zu übermitteln. Über eine Kennung können Signale der jeweiligen Einheit zugeordnet werden damit zusätzliche Arbeitsschritte zum Auslesen vor Ort vermeidbar sind.

3.1.2. Entfaltbare Außenstruktur – IGS

Die entfaltbare Außenstruktur (engl. inflatable grow structure IGS) gibt Stabilität gegen die sich auswölbenden Folienbehälter der SCM und des FWT und sorgt für die Zentrierung deren Ausrichtung. Sie bietet Schutz der äußeren Flächen, um Leckagen durch Fremdeinwirkung zu vermeiden. Die Form der Struktur kann zudem in ihrer Gestaltung an die Pflanzenkultur angepasst werden, wie beispielsweise mit einer Erweiterung durch entfaltbare Stützstreben zum Anbau von hochwachsenden Kulturen wie Tomaten.

3.1.3. Kultivierungsmatte – SCM

In der Kultivierungsmatte (engl. seed cultivation mat SCM) findet das Wurzelwachstum statt. Hierfür sind die benötigten Nährstoffe in Form einer abgestimmten und mit Sauerstoff

angereicherten Nährlösung bereitzustellen. Für ein ungestörtes Wachstum ist den Wurzeln ausreichend Volumen zur Verfügung zu stellen und es sind Maßnahmen gegen Keim- und Algenbildung vorzunehmen. Die SCM stellt ein auswechselbares Subsystem dar, in welchem zu Beginn eines Wachstumszyklus bereits alle zum Wachstum benötigten Komponenten, wie einen nachfolgend beschriebenen Pflanzenadapter, eingeschweißte Kanäle für einen Zugang zu der Nährstoffversorgung und entsprechende Anschlüsse als Schnittstellen zu den benachbarten Subsystemen, integriert sind. Nach der Ernte hat die SCM ihre Lebensdauer erreicht und die MEPA kann über eine möglichst simple Verbindungstechnik mit einem neuen Exemplar ausgerüstet werden.

Pflanzenadapter – PI

Der Pflanzenadapter (engl. plant interface PI) bildet die Schnittstelle zwischen der SCM und der entsprechenden Pflanzenkultur. Der Adapter soll im Auslieferungszustand das Saatgut beinhalten, welches im Transport und während des Aufbaus der SCM seine vorgesehene Position beibehält und gegen Beschädigung gesichert vorliegt. Um den Keimvorgang zu initiieren, benötigt der Adapter einen Zugang zu der Nährlösung im Inneren der SCM. Zudem bedarf es der Pflanze ein Substrat zur Verfügung zu stellen, welches nach einer Durchwurzelung genügend Stabilität für ein aufrechtes Wachstum gewährt.

3.1.4. Frischwassertank – FWT

Die Verwendung eines Frischwassertanks (engl. fresh water tank FWT) basiert auf der Entscheidung, eine wiederverwendbare Frischwasserversorgung einzusetzen. Damit nach einem Wachstumszyklus nicht zu große Mengen an überschüssiger Nährlösung entsorgt werden müssen, ist ein separierter FWT vorgesehen, womit nur bei Bedarf frisches Wasser in die SCM eingeleitet werden kann und somit mehrere Zyklen bzw. SCMs mit nur einer Befüllung eines separierten Wasserreservoirs auskommen können. Dennoch kann nicht davon ausgegangen werden, dass das Wasser vor Ort in einem sterilen Zustand bereitgestellt wird, wodurch auch der FWT einen stetigen Entkeimungsprozess durchlaufen sollte. Der Sachverhalt, der zu dieser Entscheidung führt, ist in *Kapitel 3.3. Weiterführende Entwicklung*

anhand einer Gegenüberstellung der Vor- und Nachteile eines separierten Tanks und einer Nutzung der SCM als Wasserreservoir aufgezeigt.

3.2. Bestehendes Konzept für das MEPA-System

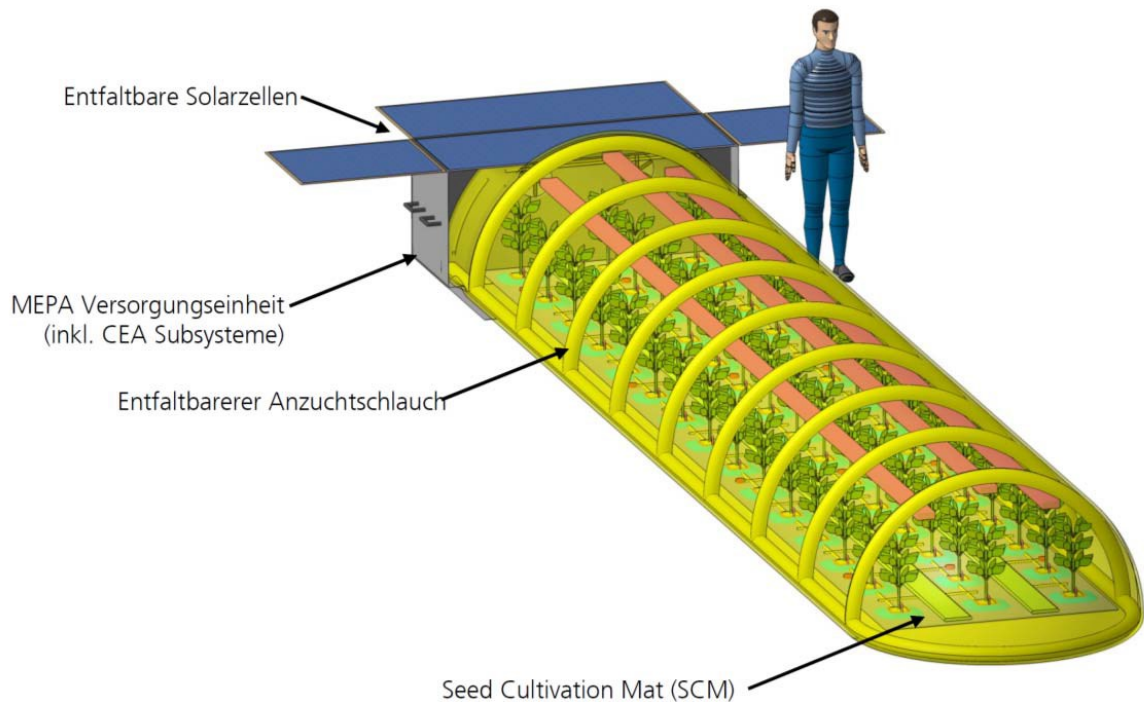


Abb. 13: Konzeptzeichnung des MEPA-Systems mit ASU, geschlossenem Anzuchtschlauch, künstlicher Beleuchtung und undefinierter SCM; Quelle: [28]

Grundsätzlich besteht das Konzept aus einer solarbetriebenen ASU, mit der alle Parameter eines CEA Systems inkl. Atmosphärenzusammensetzung kontrolliert werden können, einer undefinierten SCM und einem geschlossenen Anzuchtschlauch. Auf Konzeptdetails und Umgestaltungen wird im nachfolgenden Kapitel näher eingegangen.

3.3. Weiterführende Entwicklung des MEPA Konzepts

Im Zuge der Weiterentwicklung des MEPA-Systems werden die bestehenden Konzepte überarbeitet und an neu entstandene Bedürfnisse angepasst. Die gravierendste Änderung besteht darin, dass der entfaltbare Anzuchtschlauch in Abb. 13 wegfällt. Grund dafür ist u.a. eine mangelnde Zugänglichkeit eines Nutzers zu den Pflanzen. Mit dem Verzicht auf den

Anzuchtschlauch fällt auch die Atmosphärenkontrolle weg. Entsprechend dem Einsatzort der MEPA werden entweder die Umgebungsbedingungen im Freien als ausreichend angesehen, oder die Atmosphärenkontrolle wird ausgelagert und soll von dafür vorgesehenen Räumlichkeiten bereitgestellt werden. Gleiches gilt für die künstliche Beleuchtung. Mit dieser Entscheidung ist die MEPA als ein teilweise geschlossenes System anzusehen. Mit Bezug auf *Kapitel 2.2. Entwicklung und Aufbau kontrollierter Pflanzenanbausysteme* wird jedoch ersichtlich, dass dadurch die Vorteile eines CEA-Systems weitgehend gewahrt bleiben und gleichzeitig die Nachteile an Relevanz verlieren, denn Anschaffungskosten, Energieverbrauch, Komplexität im Aufbau und die Anfälligkeit der Technik sinken drastisch. Weiterhin soll das System so konzipiert werden, dass zum Gebrauch der MEPA keine technischen Vorkenntnisse nötig sind und beliebige Nutzer darauf zugreifen können.

Bezüglich *Kapitel 2.3. Theoretische Grundlagen hydroponischer Systeme* fällt die Wahl eines geeigneten hydroponischen Ansatzes auf die Tiefwasserkultur. Das System zeichnet sich durch die hier geforderte Schlichtheit in Aufbau und Funktion aus und gleichzeitig können hohe Erträge erzielt werden. Dem Defizit dieses Prinzips, der unzureichenden Sauerstoffversorgung der Wurzeln, soll mit einer zusätzlichen Anreicherung entgegengewirkt werden. Das bisher vorgesehene Tropfsystem benötigt ein Wurzelsubstrat, das Wasser für eine gewisse Zeit halten kann. Vorgefertigte und integrierte Wurzelkissen erschweren die Falt- bzw. Rollbarkeit der SCM. Zudem wird für die Bewässerung der Substrate eine filigrane Leitungsstruktur benötigt, die jeder einzelnen Pflanze die richtige Wassermenge zuführt. In einer Tiefwasserkultur kann der Einsatz von Wurzelkissen und deren Bewässerung umgangen werden, da die Pflanze direkt auf der Nährlösung schwimmt. Nichtsdestotrotz bedarf es einer Alternative zu dem Substrat, um die Stabilität der Pflanze zu wahren. Der Adapter, in dem die Pflanze heranwächst, soll die Funktion der Stabilität übernehmen.

Maßgeblich für die Struktur des Gesamtsystems ist der Einsatz eines Frischwassertanks. Es bestehen die Möglichkeiten, einen separaten entfaltbaren Tank zur Nachfüllung transpirierter Flüssigkeit in der SCM zu nutzen, oder die benötigte Wassermenge einmalig in die SCM einzufüllen und verbrauchen zu lassen. Eine Gegenüberstellung dieser Varianten ist in *Tabelle 6* vollzogen.

Tabelle 6: Gegenüberstellung der Vor- und Nachteile eines separierten FWT und einem in der SCM integrierten Wasserreservoirs

Separiierter Frischwassertank	Wasserreservoir in SCM
Vorteile	
<ul style="list-style-type: none"> • Neutrales Frischwasser zum Ausgleich von pH- und EC-Wert vorhanden • Übriges Frischwasser kann für neue SCM verwendet werden • Zugang zu Frischwasser vor Ort ist seltener nötig 	<ul style="list-style-type: none"> • Kostengünstiger • Vereinfachte Struktur •
Nachteile	
<ul style="list-style-type: none"> • Zusätzliche Zirkulierung/Pumpe • Anzahl der Ventile nimmt zu 	<ul style="list-style-type: none"> • Kontaminierung/Versalzung kann nicht entgegengewirkt werden • Kalkulierter Wasserverbrauch ist stark abh. von Transpirationsrate

Aus der Gegenüberstellung geht hervor, dass bei einer initialen Befüllung der SCM mit der absoluten Wassermenge zwei Szenarien auftreten können, die zum Abbruch eines Wachstumszyklus führen:

1. Ist das Wasserreservoir kontaminiert oder mit einer zu hohen Salzakkumulation betroffen, stirbt die Kultur aufgrund von toxischer Einwirkung ab.
2. Ist das Wasserreservoir vorzeitig aufgebraucht, trocknet die Kultur aus und stirbt ab, ohne ihre volle Reife erlangt zu haben.

Letzteres kann vereitelt werden, indem eine genügend hohe Marge für die Wassermenge angesetzt wird, jedoch steigt die Wahrscheinlichkeit, dass überschüssige Nährlösung zum Ende eines Zyklus entsorgt werden muss, da eine Wiederverwendung von mit organischem Material in Kontakt getretene Lösung nicht ohne zusätzliche Filterprozesse möglich ist. Trotz erhöhter Komplexität fällt die Wahl somit auf einen separierten Frischwassertank.

3.3.1. Systemanforderungen

Aus der vorangegangenen Beschreibung des Systems und der Subsysteme, sowie aus den Ansätzen aus der weiterführenden Entwicklung sind im nachfolgenden Unterkapitel die Definitionen der Systemanforderungen abgeleitet und in einer tabellarischen Ansicht zusammengefasst.

Tabelle 7: Zusammenfassung der Systemanforderungen an das MEPA-System

	Kennung	Beschreibung funktionaler Anforderungen
Gesamtsystem	MEPA_01	Das MEPA System soll hinsichtlich Betriebs- und Einsatzszenario dem plug&grow Ansatz folgen.
	MEPA_02	Das MEPA System soll alle Systeme und Subsysteme für den späteren Betrieb (Pflanzenproduktion) beinhalten. Ausnahme: Wasser wird während der Inbetriebnahme am Einsatzort bereitgestellt.
	MEPA_03	Das MEPA System soll im Transportzustand leichtgewichtig, kompakt und dennoch robust sein. Das Trockengewicht soll 100 kg nicht übersteigen.
	MEPA_04	Das MEPA System soll aus vier Hauptbestandteilen bestehen: <ul style="list-style-type: none"> • Automatisierte Versorgungseinheit ASU (Automated Support Unit) • Einweg Saatgut Kultivierungsmatte SCM (Seed Cultivation Mat) • Frischwassertank FWT (Fresh Water Tank) • Entfaltbare Struktur IGS (Inflatable Grow Structure)
ASU	MEPA_ASU_01	Die ASU soll die folgenden Subsysteme beinhalten <ul style="list-style-type: none"> • Energieversorgung PCDS (Power Control and Distribution System) • Nährstoffversorgung NDS (Nutrient Delivery System) • Datenverarbeitung und Kontrollsystem DHCS (Data Handling and Control System)

	Kennung	Beschreibung funktionaler Anforderungen
ASU	MEPA_ASU_PCDS_01	Das PCDS soll mit genug Solarzellen betrieben werden, um einen kontinuierlichen Betrieb zu gewährleisten.
	MEPA_ASU_PCDS_02	Das PCDS soll in der Lage sein, Energie zu speichern, um den Betrieb ohne Solarenergie fortsetzen zu können.
	MEPA_ASU_NDS_01	Das NDS soll Wasser von einem entfaltbaren Frischwassertank entnehmen und in die SCM einspeisen.
	MEPA_ASU_NDS_02	Das NDS soll in der Lage sein, das Wachstum von Mikroorganismen im Frischwassertank, sowie in der SCM so gering wie möglich zu halten.
	MEPA_ASU_NDS_03	Das NDS soll das Wasser zur Bewässerung aus dem Frischwassertank in die SCM befördern.
	MEPA_ASU_NDS_04	Das Wasser zur Bewässerung soll mit Nährstoffen angereichert werden, nachdem es den Frischwassertank verlassen hat.
	MEPA_ASU_NDS_05	Das NDS soll das Wasser in der SCM mit genügend Sauerstoff anreichern.
	MEPA_ASU_DHCS_01	Das DHCS soll die Sensordaten erfassen und die Aktuatoren für den laufenden Betrieb ansprechen.
	MEPA_ASU_DHCS_02	Das DHCS soll den Füllstand auslesen um bei Bedarf Frischwasser in die SCM umzuleiten.
	MEPA_ASU_DHCS_03	Das DHCS soll in der Lage sein, den pH- und EC-Wert in der SCM zu steuern.
SCM	MEPA_SCM_01	<p>Die SCM soll aus einer Trägerfolie bestehen mit folgenden integrierten Einheiten:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Adapter zur Aufnahme von Samen/Pflanzen PI (Plant Interface) • Kammer zur Befüllung mit Nährlösung und Ausbreitung der Wurzeln

	Kennung	Beschreibung funktionaler Anforderungen
SCM		<ul style="list-style-type: none"> Eingeschweißte Leitungen/Kanäle zur Nährstoffversorgung, Wasserzirkulation und Belüftung der Wurzeln
	MEPA_SCM_02	Die SCM soll mit den gesamten integrierten Einheiten ein- und auszurollen sein, um einen kompakten Transport zu ermöglichen.
	MEPA_SCM_03	Eine SCM soll für einen Wachstumszyklus genutzt werden. Nach Vollendung des Zyklus wird die SCM entfernt und eine neue SCM wird genutzt.
	MEPA_SCM_04	Die SCM soll Plätze für mehrere Pflanzenadapter bieten, abhängig von dem spezifischen morphologischen Bedarf der jeweiligen Kultursorte.
	MEPA_SCM_05	Innerhalb der SCM soll genügend Platz vorhanden sein, damit sich das Wurzelsystem ausbreiten kann.
	MEPA_SCM_06	Die Kammer soll geschlossen sein, um äußerliche Verunreinigungen zu vermeiden. Gleichzeitig sollen durch die Sauerstoffanreicherung entstandene Luftpolster entweichen können.
	MEPA_SCM_07	Die Folie soll resistent gegen Sonneneinstrahlung und lichtundurchlässig sein.
	MEPA_SCM_NDS_01	Die SCM soll die Nährstoffe für die jeweilige Pflanzenkultur bereits beinhalten und bei Bedarf in die Kammer abgeben.
	MEPA_SCM_PI_01	Der Adapter soll beim Einrollen/Falten der SCM die Kompaktheit nicht beeinträchtigen.
	MEPA_SCM_PI_02	Der Samen im Adapter soll an einer festen Position fixiert sein.
	MEPA_SCM_PI_03	Für die Keimung muss das Saatgut initial mit Wasser in Kontakt kommen.
	MEPA_SCM_PI_04	Wasser soll nicht über den Adapter entweichen können.

	Kennung	Beschreibung funktionaler Anforderungen
SCM	MEPA_SCM_PI_05	Der Pflanzenadapter soll der Pflanze Stabilität gegen Umkippen geben.
IGS	MEPA_IGS_01	Die IGS soll aus den zwei Komponenten bestehen: <ul style="list-style-type: none"> • Äußerliche Struktur • Frischwassertank FWT (Fresh Water Tank)
	MEPA_IGS_02	Die IGS soll aufblasbar sein und eine strukturgebende Funktion für die SCM übernehmen.
	MEPA_IGS_03	Die IGS soll hochwachsenden Pflanzen, z.B. Gurken oder Tomaten, Stabilität geben.
	MEPA_IGS_04	Das Material der IGS soll beständig gegen einen Druck von mindestens 2 <i>bar abs.</i> sein.
FWT	MEPA_FWT_01	Die IGS soll einen integrierten und geschlossenen Frischwassertank mit ausreichend Fassungsvermögen beinhalten, der den Untergrund des Systems bildet.
	MEPA_FWT_02	Das Material des Reservoirs soll ausreichend beständig gegen scharfkantigen Untergrund sein.
	MEPA_IGS_FWT_03	Bei Wasserentnahme aus dem Reservoir soll die strukturgebende Funktion der IGS nicht nachlassen.

4. Auslegung und Berechnung der Zielparameter

In diesem Kapitel werden die Zielparameter für die Grundausslegung der MEPA berechnet und hergeleitet. Das Ziel ist hierbei, die genannten Systemanforderungen zu erfüllen und das System so auszulegen, dass die Ergebnisse als Grundlage für den Aufbau eines Engineering Models (EM) genutzt werden können.

4.1. Definition geometrischer Randbedingungen

Der Anbau von Nahrungsmitteln hat in der Landwirtschaft seit jeher Bestand und ist dementsprechend ausführlich dokumentiert. In der einschlägigen Literatur sind Richtwerte und Normen zu der Einteilung von Anbauflächen zu finden und so geben beispielsweise M. Kreuter und H. Hoffmann einen Bereich zur guten Bearbeitung eines Gemüsebeets per Hand mit einem 0,6 m Radius an [29]. Daraus ergibt sich bei einer beidseitigen Erreichbarkeit der Anbaufläche eine Breite von 1,2 m. Ist die MEPA aufgebaut und in Betrieb genommen, soll das Wachstum weitestgehend autonom ablaufen. Eine stetige Bearbeitung der Pflanzen ist nicht gefordert, und daher ist es als ausreichend anzusehen, dass der Nutzer die Pflanzen begutachten und abernten kann, ohne weitere Hilfsmittel in Anspruch nehmen zu müssen. Dies ist auch möglich, wenn der Abstand von der Strukturgrenze bis zur Mitte der SCM in etwa einer Armlänge entspricht und wird daher auf 0,8 m angehoben. Inklusive aufblasbarem Strukturrahmen von 10 cm pro Seite, beträgt damit die Gesamtbreite 1,6 m und die Nettobreite der SCM 1,4 m.

Die Gesamtlänge der entfaltbaren Komponenten wird durch die Handhabung im Transportzustand begrenzt. Die sich ergebenden Maße sind empirisch aus ersten Umsetzungen des Modells zu erheben. Da am Einsatzort eine möglichst ebene Grundfläche für die Ablage einer MEPA vorhanden sein sollte und ggf. Begradigungen vorgenommen werden müssen, soll die Gesamtlänge nicht über 5,0 m hinausgehen. Für den weiteren Berechnungsverlauf wird die Länge daher mit einer Annahme von maximal 5,0 m festgelegt. Die Höhe des Systems ist abhängig von dem Fassungsvermögen des FWT, sowie von dem Volumen, das die SCM einnimmt. Um diese Größen bestimmen zu können, sind die Transpirationsraten und die Anzahl der zu verwendenden Pflanzen zu betrachten. Die Anzahl an Pflanzen pro SCM wird durch deren morphologische Ausbreitung festgelegt. Der minimale

Abstand zwischen zwei benachbarten Kulturen definiert sich dadurch, dass die Lichtausnutzung nicht beeinträchtigt ist und ausreichend Konvektion zwischen den Pflanzen stattfinden kann. In einer umfangreichen Literaturrecherche hat sich *Alina Klix* mit ihrer Thesis [30] bereits mit der Flächenausnutzung einer SCM befasst. Die gesammelten Daten sind in *Tabelle 8* zusammengefasst dargestellt. Es handelt sich um eine Auswahl von Pflanzen mit einem hohen Wasseranteil, da diese eine geringe Lagerfähigkeit aufgrund von schnell eintretender Verderblichkeit aufweisen und somit eine Produktion vor Ort erfordern.

Tabelle 8: Eigenschaften zum Anbau verschiedener Pflanzenkulturen; Quellen: [30] [31] [32] [33]

	Mangold	Kopfsalat	Tomate	Gurke	Sellerie	Kohlrabi
Pflanzabstand [cm]	35	30	40	50	25	30
Pflanzenhöhe [cm]	45	25	250	210	25	35
Wachstumszyklus [d]	75	34	85	112	130	47
Stück pro Pflanze	1	1	32	24	1	1
Gewicht pro Stück [g]	700	450	120	435	400	265
Transpirationsrate [$\frac{kg}{m^2 \cdot d}$]	1,77	1,12*	2,77	2,48	1,24	1,77

**Das NASA.Baseline Values and Assumptions Document [33] gibt hierfür eine Rate von 1,77 an, jedoch wird von einer Pflanzendichte von 19,2 Pflanzen pro m^2 ausgegangen. Der Wert ist an eine Pflanzendichte von 12,1 Pflanzen pro m^2 bezüglich der hier angegebenen Pflanzabstände angepasst.*

Da eine Wiederverwendung des FWT vorgesehen ist, orientiert sich das Volumen an der Pflanze mit der höchsten Transpiration, um diese mit Wasser für einen ganzheitlichen Wachstumszyklus zu versorgen, hier die Gurkenpflanze. Bei einer Gesamtfläche der SCM von $7 m^2$ und den Werten aus *Tabelle 8* ergibt sich folgende Rechnung über *Gleichung (1)*.

$$E \cdot A_{SCM} \cdot T_d = V_{Wasser} \quad (1)$$

$$2,48 \frac{kg}{m^2 \cdot d} \cdot 7 m^2 \cdot 112 d = 1944 kg = 1944 l = 1,994 m^3$$

mit

E = Transpirationsrate [$\frac{kg}{m^2 \cdot d}$]

T_d = Dauer des Wachstumszyklus in Tagen [d]

A_{SCM} = Oberfläche der SCM [m^2]

V_{Wasser} = benötigte Wassermenge [m^3]

Bei einer Marge von 20 % erhöht sich das Tankvolumen auf $2,43 \text{ m}^3$ und daraus ergibt sich eine Höhe des Tanks von $0,321 \text{ m}$.

Die äußere Struktur hat somit eine vorgegebene Größe, an welche die SCM angepasst ist und entsprechend des Pflanzabstands mit der möglichen Anzahl der Kultursorte bestückt werden kann.

4.2. Auslegung der Kultivierungsmatte SCM

Die SCM steht bei Betrachtung des Gesamtsystems im Vordergrund. Alle weiteren Subsysteme tragen dazu bei, dass in der SCM das Pflanzenwachstum unter bestmöglichen Bedingungen stattfinden kann. Doch auch die Gestaltung der SCM selbst hat darauf großen Einfluss. Wie bereits unter *Kapitel 3.3. Weiterführende Entwicklung* beschrieben, folgt die Auslegung dem Prinzip einer Tiefwasserkultur (engl. deep water culture DWC). Da die Gestaltung der SCM maßgeblich von der ausgewählten Pflanzenkultur bestimmt ist, erfolgt der Auslegungsprozess anhand eines Szenarios, in dem die SCM als Monokultur mit Salat bestückt ist. Mit der Auswahl an Kulturen und deren Eigenschaften aus *Tabelle 8*, sowie der bereits festgelegten Maße der Außenstrukturen finden insgesamt 85 Salatköpfe Platz auf einer Trägerfolie der SCM. Die Gründe, die für eine Monokultur sprechen, sind in vielerlei Hinsicht gegeben. Aufgrund des Strebens nach einer Konstruktion mit möglichst geringer Komplexität, sind im Inneren der SCM keine weiteren Abgrenzungen vorgesehen, sodass jede Pflanze mit derselben Nährlösung versorgt ist und die Wurzelwerke somit im Austausch miteinander stehen. Die Nährlösung ist gemäß einer Tiefwasserkultur nur auf eine einzelne Kultur und deren vorliegende Wachstumsphase abgestimmt, da bei einem Kompromiss zwischen Kulturen stets mit beidseitigen Defiziten zu rechnen ist. Zudem wird mit einer Monokultur eine Nährstoffkonkurrenz zwischen diversen Kulturen vermieden [29]. Ein weiteres Argument für eine Monokultur liegt darin, dass alle Pflanzen dieselbe Zyklusdauer in Anspruch nehmen und somit keine Positionen einem Leerlauf ausgesetzt sind.

Die SCM zählt zu den flexiblen Systemen der MEPA, welche durch ein geschweißtes Foliendesign mit hoher Gestaltungsfreiheit ausgezeichnet sind. Gleichzeitig gilt es der Anforderung nach einer hohen Komprimierbarkeit im Transportmodus zu entsprechen, was nach einer simpel aufgebauten Struktur verlangt. Diesen Ansätzen zu Folge ist der

Grundkörper als dünnwandiger Quader ausgelegt, dessen Längen- und Breitenmaß durch die geometrischen Randbedingungen vorgegeben sind. Die Höhe richtet sich wieder einmal nach der jeweiligen Kultursorte und deren morphologischer Ausbreitung. Unter Berücksichtigung der Volumeneinnahme des Wurzelgeflechts und dem Pflanzabstand von Salat (s. *Tabelle 8*) ist die Höhe der SCM auf 10 cm angesetzt, womit eine homogene Verteilung der Nährlösung und deren Konzentration gewährleistet ist [34]. Neben der Nährstoffkonzentration beeinflusst der Sauerstoffgehalt in der Lösung das Wachstumsverhalten der Pflanze indem Wurzelfäule vorgebeugt wird und die Nährstoffaufnahme zunimmt. Auf das Verfahren zur Sauerstoffanreicherung wird in *Kapitel 4.5. Auslegung der Versorgungseinheit* näher eingegangen. Prinzipiell veranschaulicht, unterliegt die Nährlösung einem stetig anhaltenden Fluidkreislauf, für den an geeigneter Stelle eine Luftzufuhr vorgesehen ist. Für die SCM bedeutet dies, dass je länger die Luftblasen im Fluid verweilen, desto mehr Sauerstoff in die Lösung diffundieren kann. Dementsprechend ist der Fluideingang der SCM durch einen eingeschweißten Leitungsverlauf geführt, um die Verweildauer von Luft zu verlängern, bevor die Blasen zur Wasseroberfläche aufsteigen. Dort angesammelte Luftpolster sollen an der Pflanzenschnittstelle entweichen können, damit keinesfalls Überdruck in der SCM herrscht und der Gefahr eines Austritts der Nährlösung über die Pflanzenadapter vorgebeugt ist. Damit sich die Pflanzenadapter stets über der Wasseroberfläche befinden und nicht unter dem Gewicht der Pflanzenmasse oder durch Einwirken von Wetterverhältnissen einsinken, ist die obere Trägerfolie der SCM mit einer Schwimmerstruktur versehen. Die nötige Auftriebskraft ist mit Hinzunahme eines durchschnittlichen Gewichts eines Salatkopfs inkl. Wurzelwerk von 0,5 kg aus der zu erfüllenden Bedingung in der *Ungleichung (2)* und den folgenden Umformungsschritten berechnet.

$$F_A > F_G \quad (2)$$

$$\rho_{Fl} \cdot V_{Schw} \cdot g > m_S \cdot g + \rho_{Schw} \cdot V_{Schw} \cdot g$$

$$V_{Schw}(\rho_{Fl} - \rho_{Schw}) > m_P$$

mit

F_A = Auftriebskraft [N]

F_G = Gewichtskraft [N]

V_{Schw} = Schwimmervolumen [m³]

ρ_{Fl} = Fluiddichte $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

ρ_{Schw} = Schwimmerdichte $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

m_P = Pflanzenmasse [kg]

Die Fluidichte entspricht der Nährlösung und diese kann aufgrund der zu vernachlässigbaren Anteile an Nährstoffen entgegen des Wasseranteils, als die Dichte von Wasser mit 998 kg/m^3 unter Normalbedingungen (20°C , 101325 Pa) angegeben werden. Die Gesamtmasse ergibt sich aus $0,5 \text{ kg}$ pro Pflanze und 85 Stück pro SCM, sowie aus 85 Pflanzenadaptern zu insgesamt aufgerundeten 45 kg .

Mit der Auswahl eines geeigneten Schwimmermaterials in Kapitel 5.2. *Materialauswahl* und dessen Dichte, kann somit das benötigte Volumen der Schwimmerstruktur errechnet werden. Der Materialauswahl vorweggenommen beträgt die Materialdichte 14 kg/m^3 .

$$V_{\text{Schw}} > \frac{45 \text{ kg}}{(998 - 14) \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$V_{\text{Schw}} > 0,046 \text{ m}^3$$

Mit einem angenommen Sicherheitsfaktor von 1,2 beträgt das Schwimmkörpervolumen $0,055 \text{ m}^3$ und die Bedingung ist damit erfüllt. Bei einer Anordnung der Schwimmerstruktur und deren Querschnittsgeometrie, wie in Abb. 14 gezeigt, lassen sich die Maße der Gesamtstruktur ableiten.

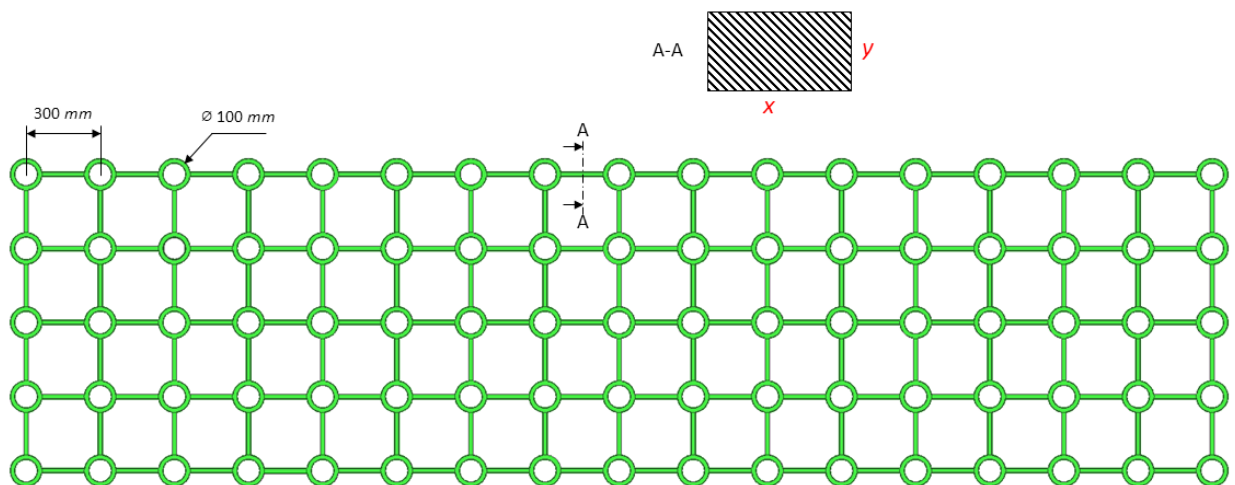


Abb. 14: Anordnung der Schwimmkörperstruktur auf der Trägerfolie der SCM für gesicherten Auftrieb der Pflanzenadapter;
Quelle: Eigenanfertigung

Die Anordnung umfasst 85 Kreise a $\varnothing 100 \text{ mm}$, jeweils um einen Pflanzenadapter herumgeführt, und 148 Stege mit einer Länge von 200 mm als Verbindungsstücke. Die Gesamtlänge ergibt sich daraus mit $56,3 \text{ m}$ und die rechteckige Querschnittsfläche beträgt

damit 975 mm^2 . Für ein möglichst dünnflächiges Design sind die Kantenlängen x und y der Fläche (s. Abb. 14) entsprechend gewählt und sind konservativ aufgerundet mit $x = 50 \text{ mm}$ und $y = 20 \text{ mm}$ angegeben. Im Transportmodus, also im zusammengefalteten Zustand besteht die Annahme, dass die Höhe von 20 mm zu mindestens 50 % komprimiert wird. Der exakte Komprimierungsgrad ist von der Materialauswahl abhängig.

Die Berechnung dient als Anhaltspunkt zur Auslegung der Schwimmerstruktur und unterläuft einer Iteration, die auf der Ausgabe des modellierten Volumengehalts über eine Konstruktions-Software basiert. Das Volumen beträgt demnach $0,051 \text{ m}^3$ und die Kantenlängen können somit auf $45 \times 20 \text{ mm}$ reduziert werden.

4.2.1. Auslegung des Pflanzenadapters PI

Der Pflanzenadapter bildet die Schnittstelle zwischen Pflanze und SCM. Er dient zur Aufnahme des Saatguts und verleiht der heranwachsenden Pflanze Stabilität. In Abb. 15 ist der Aufbau des Adapters dargestellt.

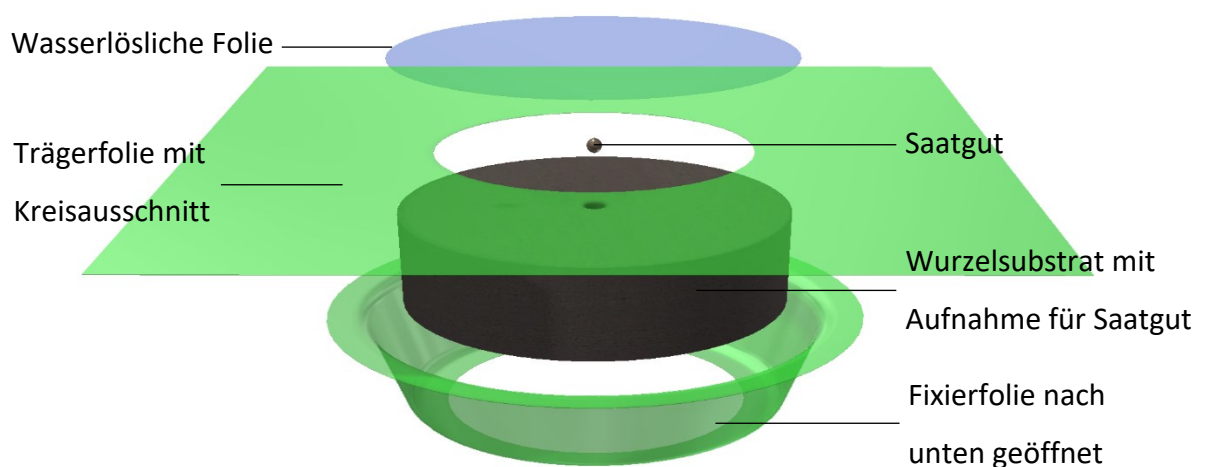


Abb. 15: Aufbau des Pflanzenadapters mit (von unten nach oben) Fixierfolie, Wurzelsubstrat inkl. Saatgut, SCM-Trägerfolienteilausschnitt und wasserlöslicher Folie; Quelle: Eigenanfertigung

Das PI besteht aus einer Fixierfolie, die mit der SCM verschweißt ist und in Richtung der darunterliegenden Nährlösung einen offenen Zugang hat. In der Fixierfolie befindet sich ein Wurzelsubstrat, das mit einer Aufnahme für das Saatgut versehen ist. Das Substrat inkl. Samen ist mit einer wasserlöslichen Folie bedeckt, welche ebenso mit der SCM verschweißt ist und somit die Positionierung des Samens unveränderlich festgelegt ist. Das Kriterium für eine

Absicherung gegen eine Lageänderung des Saatguts während des Transports bzw. Aufbaus ist somit erfüllt.

Bei initialer Befüllung der SCM kommt das Substrat mit Flüssigkeit in Kontakt, saugt diese auf und schwillt an. Sobald das Saatgut mit genügend Feuchtigkeit umgeben ist, zersetzt sich die wasserlösliche Folie und der Keimprozess beginnt.

Der Pflanzenadapter dient zusätzlich als Auslass überschüssiger Luftpolster, die sich in der SCM durch die Sauerstoffversorgung ansammeln. Das Wurzelsubstrat ist entsprechend auszuwählen, damit eine ausreichende Luftdurchlässigkeit gegeben ist. Das Pflanzenwachstum profitiert von einem Auslass über das Substrat, da eine ausgeprägtere Wurzelatmung stattfindet. Zur Orientierung bei der Wahl eines Substrates ist eine bestehende Arbeit über die Eignung von Substraten für die MEPA in Form einer detaillierten Versuchsanordnung herangezogen. In ihrer Thesis [35] dokumentiert *Stella Unruh* das Keimverhalten von einer breiten Auswahl an organischen und synthetischen Substraten. Ein Auszug der Versuchsreihe ist in *Abb. 16* zu sehen.



Abb. 16: Versuchsaufbau zur Ermittlung geeigneter Wurzelsubstrate für die Anwendung für das MEPA System; Quelle: [35]

Ihre Ergebnisse, die für organischen Materialien sprechen, aber auch Materialeigenschaften, die für die Einrollbarkeit bzw. Faltbarkeit der SCM maßgebend sind, werden in *Kapitel 5.2. Materialauswahl* berücksichtigt.

Die Abb. 17 zeigt schließlich den Aufbau der SCM inklusive Pflanzenadapter.

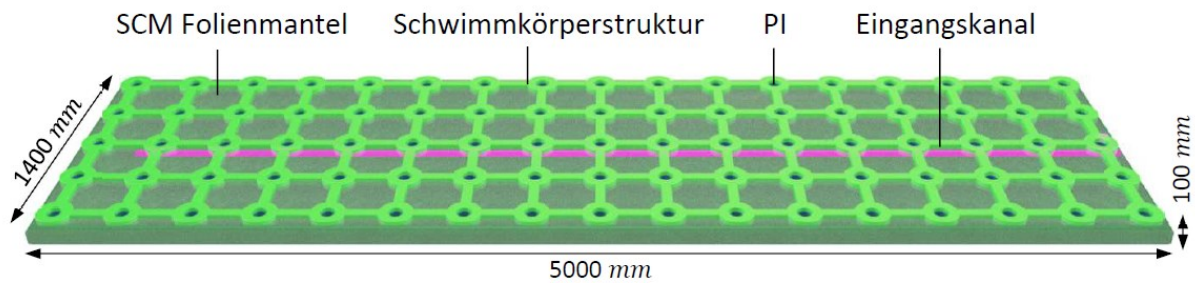


Abb. 17: CAD-Modell der SCM mit Folienwanne und Trägerfolie (grün), Schwimmkörperstruktur (hellgrün), Pflanzenadapter innerhalb der Schwimmkreise (blau) und eingeschweißter Zuflussleitung für einen verzögerten Aufenthalt sauerstoffhaltiger Luft; Quelle: Eigenanfertigung

Die SCM ist in ihrer mobilen und entfaltbaren Bauweise einzigartig. Für das Gesamtsystem MEPA gibt es aktuell keine vergleichbaren Einheiten, die eine derartig kompakte und leichtgewichtige Struktur aufweisen. Die Matte gilt daher als Herzstück der Einheit und nimmt den innovativen Beitrag zu dieser Arbeit in Anspruch.

4.3. Auslegung der Strukturhülle IGS

Die IGS bildet einen Rahmen um alle übrigen entfaltbaren Komponenten, schützt diese vor äußeren Einflüssen und verleiht eine stützende Struktur für eine ausgerichtete Auslage von FWT und SCM. Über die Zeit sinken der Wasserspiegel und damit auch die schwimmenden Pflanzen. Um bei tiefem Wasserstand eine Abschattung der SCM durch die Strukturhülle zu vermeiden, ist diese in Segmente aufgeteilt, die einzeln mit Luft befüllt werden können und so eine anpassbare Höhe erlauben, ohne die strukturelle Funktion zu beeinträchtigen. Die Art der Befüllung hängt von dem Einsatzszenario der MEPA ab. Die Zugänglichkeit für Nutzer und die Energieversorgungsweise bestimmen, ob die Befüllung manuell getätigt wird, oder ob sie automatisiert über einen integrierten Kompressor abläuft. Ein Mittelweg durch elektrische Luftpumpen, wie sie für Schlauchboote oder Luftmatratzen verwendet werden, ist ebenso denkbar. Tragende Strukturen, die mit Luft befüllt sind, haben hohes Leichtbaupotenzial, sind jedoch nur selten vertreten. Zwei Anwendungsbeispiele, an denen sich die Umsetzung der IGS orientiert, sind in der Abb. 18 dargestellt und die Abb. 19 zeigt die

IGS mit ihren separaten Kammern und einem Ausschnitt für die Durchführung des Leitungsverlaufs.

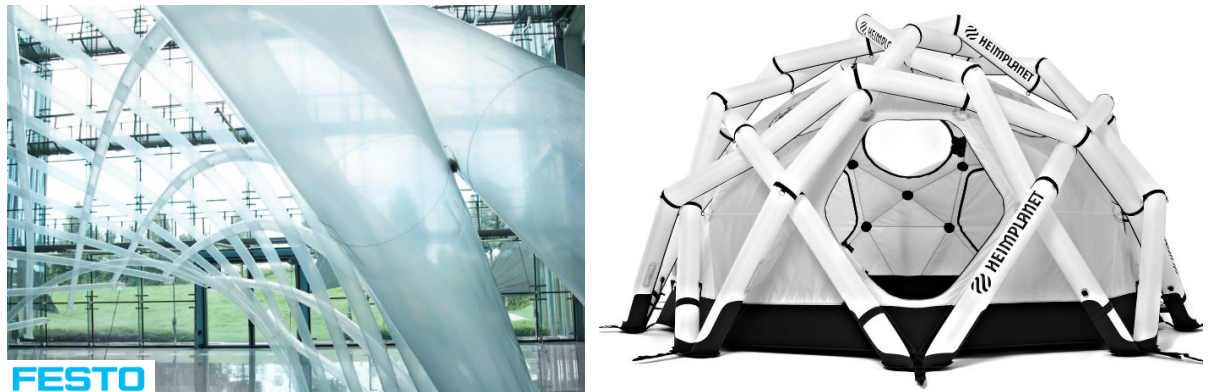


Abb. 18: Anwendungsbeispiele für tragende und entfaltbare Luftstrukturen aus Folienmaterial der Firmen Festo (links) und Heimplanet (rechts) als Vorbild für die Umsetzung der IGS; Quellen: festo.com und heimplanet.com



Abb. 19: CAD-Modell der IGS mit segmentierter Röhrenstruktur und versorgungsseitiger Einsparung; Quelle: Eigenanfertigung

4.4. Auslegung des Frischwassertanks FWT

Die Dimensionen des FWT sind bereits weitestgehend mit der Definition der geometrischen Randbedingungen bestimmt. Der Aufbau entspricht einem simplen Behälter und dient als Wasserreservoir für Frischwasser. Auch hier kommt das Foliendesign zum Einsatz mit zusätzlicher Verstärkung am Boden, da dort die Auflage gegen rauen Untergrund zu schützen ist. Der Tank fasst 2430 l inkl. 20 % Marge und ist auf die Pflanze mit dem höchsten Wasserverbrauch abgestimmt, damit jede MEPA mit unterschiedlichen SCM Konfigurationen bzw. mit unterschiedlichen Pflanzenkulturen bestückt werden kann und das Tankvolumen für

mindestens einen ganzheitlichen Kultivierungszyklus ausreicht. Die nachfolgende *Tabelle 9* gibt Aufschluss darüber, mit wie vielen Durchläufen die verschiedenen Kulturen durch eine vollständige Befüllung des FTW versorgt werden können.

Tabelle 9: Wasserverbrauch für ausgewählte Kulturen und deren Anzahl an Wachstumszyklen, die mit einer FWT Befüllung möglich sind; Quelle: abgeleitet von Tabelle 8

	Mangold	Salat	Tomate	Gurke	Sellerie	Kohl
Wasserverbrauch pro Pflanze [l]	16,59	3,13	31,7	64,81	9,4	6,85
Anzahl Pflanzen pro SCM	56	85	52	30	120	85
Wasserverbrauch gesamt [l]	929,25	266,4	1648,2	1944,3	1128,4	582,3
Wachstumszyklen pro FWT	2,62	9,98	1,47	1,25	2,15	4,17

Um die Ausgänge an dem FWT und der darauf liegenden SCM möglichst tief abzugreifen und der allgemeinen Lage des Leitungsverlaufs bzw. dessen Zugänglichkeit zugunsten, ist in dem quaderförmigen Folienbehälter zur Seite der ASU eine Einbuchtung vorgesehen. Zur Veranschaulichung zeigt die *Abb. 20* eine CAD-Zeichnung.

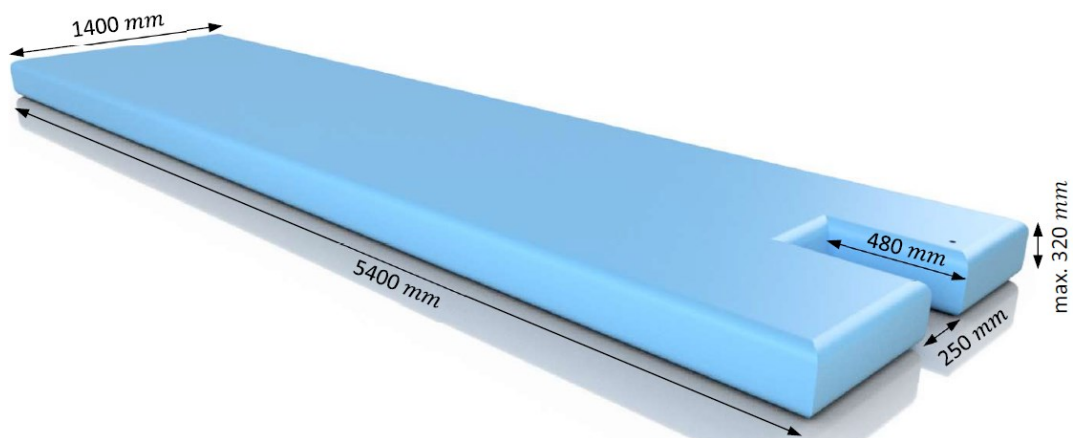


Abb. 20: CAD-Modell des FWT mit Einbuchtung zur Versorgungsseite; Quelle: Eigenanfertigung

Durch die Einsparung wird die eingangs berechnete Tankhöhe bei gleichbleibendem Volumen von 321 auf 326 mm angehoben. Diese Höhe wird jedoch nur bei der Befüllung erreicht, da der Wasserspiegel, nach Abgabe von Wasser in die SCM, entsprechend sinkt.

Bei der Befüllung des FWT ist nicht auszuschließen, dass Luft mit in das System gelangt. Entstehende Lufteinschlüsse sollen entweder durch die Entlüftung der Filtereinheit freigelassen werden, oder größere Luftpolster müssen an der Oberseite über ein

Überdruckventil oder einen manuellen Auslass entweichen. Für den Betriebszustand sollte besonders bei der Wahl für die Entkeimungsmethode darauf geachtet werden, dass die in den Kreislauf des FWT verbauten Komponenten keine Gase entwickeln.

4.5. Auslegung der Versorgungseinheit ASU

In der ASU laufen alle Subsysteme zusammen und sind durch einen Leitungsverlauf gekoppelt. Sie enthält jegliche Steuerungselemente, um die Prozessabläufe für einen einwandfreien Betrieb der MEPA durchzuführen. Aus den vorangegangenen Systemanforderungen ist ein konzeptioneller Aufbau abgeleitet und in einem Blockdiagramm verbildlicht.

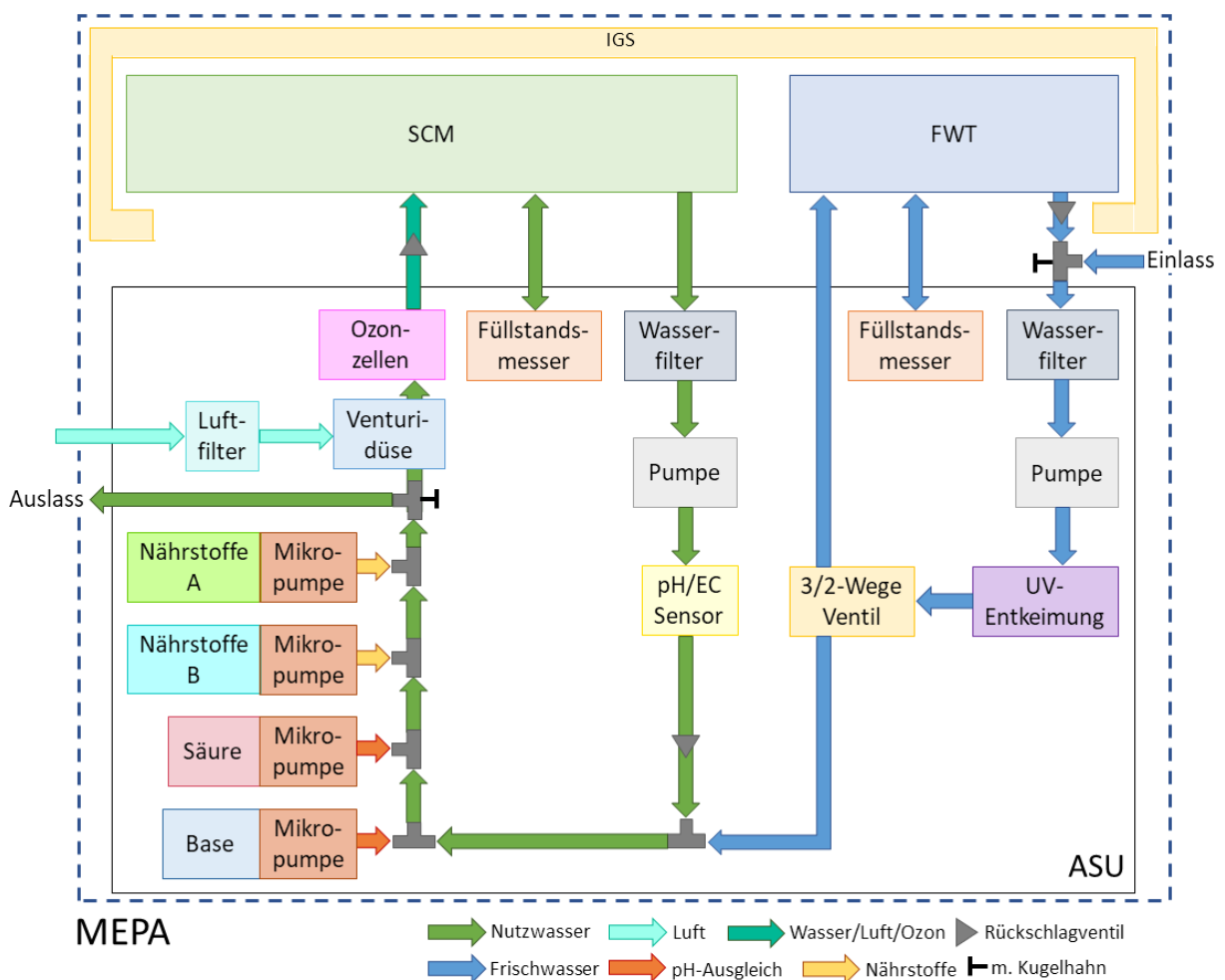


Abb. 21: Blockdiagramm zur Visualisierung des Funktionsablaufs der ASU; Quelle: Eigenanfertigung

In der Abb. 21 sind die involvierten Komponenten sowie die Flussrichtungen der Fluide in zwei gekoppelten Zirkulationskreisläufen dargestellt. Es sind die beiden Zirkulationskreisläufe anhand der farblichen Aufschlüsselung der Fluide ersichtlich. Die Kreisläufe können über ein

3/2-Wege Ventil miteinander verbunden werden. Die Ventilstellung ist an die Füllstandsensoren gebunden, welche vorgeben, ob Frischwasser benötigt wird. In dem gekoppelten Modus wird das durch Transpiration verloren gegangene Wasser ersetzt, indem es aus dem FWT in den Kreislauf der Nährlösung eingeleitet wird. Im geschlossenen Zustand dient die Zirkulation in erster Linie der Aufrechterhaltung von Konvektion und der Filterung des Frischwassers im FWT bzw. der Nährlösung in der SCM. Die Nährlösung erfährt dadurch eine homogene Durchmischung und die stetige Bewegung in den Behältern wirkt zudem vorbeugend gegen eine Algenbildung. Die Strömung wird durch je eine Pumpe pro Kreislauf erzeugt, deren Durchsatzmenge den gesamten Prozessablauf bestimmt. Diese muss mindestens die Menge des transpirierten Wassers fördern, ist aber noch durch weitere Einflussfaktoren zu bestimmen. Wie bereits ermittelt, liegt der Betrag des maximalen Wasservolumens bei 2430 l. Dieses soll bei der initialen Befüllung des Systems in einer angemessenen Zeitspanne den Filterungs- und Entkeimungsprozess durchlaufen. Ebenso sollen die Inhalte von SCM und FWT ausreichend oft umgewälzt werden, sodass die Prozesse der Nährstoffversorgung, Sauerstoffzufuhr, sowie des pH- und EC-Ausgleichs nicht eingeschränkt sind. Weiterhin soll die Betankung der MEPA nicht von den örtlich vorhandenen Gegebenheiten abhängen, weshalb eine möglichst universelle Betankungsweise bevorzugt ist. Beispielsweise mit einer selbstansaugenden Pumpe sind keine weiteren Pumpen zur Betankung notwendig und es können auch Wasserquellen genutzt werden, die nicht über die Möglichkeit verfügen, eine Förderung von Wasser via Bedrückung oder potenziellem Höhenunterschied hervorzurufen.

4.5.1. Auslegung der Entkeimung

Da eine Wasserqualität von unterschiedlicher Güte an den Einsatzorten zu erwarten ist, unterliegt der Frischwasserkreislauf einer Entkeimung durch Bestrahlung eines Leitungssegments mit einer UV-Leuchte. Die Methoden zur Wasseraufbereitung sind im Kapitel 2.3. *Theoretische Grundlagen hydroponischer Systeme* beschrieben und die Wahl für die UV-Leuchte ist daher begründet, dass keine Zusatzstoffe eingeleitet werden müssen und es sich bei dem Kreislauf des FWT um einen geschlossenen handelt und daher auch eine Kontamination durch äußere Einflüsse ausgeschlossen ist. Dies kann nicht von der SCM behauptet werden, denn durch den Umstand, dass die Pflanzen die Systemgrenzen

durchbrechen, ist eine Kontamination von außen durchaus möglich. Zudem finden biologische Wachstumsprozesse in der Nährlösung statt, die einen gewissen Bedarf an sog. Effizienten Mikroorganismen haben. Es gilt also, ein Gleichgewicht in der bakteriellen Population aufrechtzuerhalten. Für die Wahl einer entsprechend passenden Methode kann auf die Erfahrungswerte des EDEN-Teams zurückgegriffen werden. Die Verwendung von Ozon zeigt vielversprechende Ergebnisse bei der Kontrolle über den mikrobakteriellen Haushalt in der SCM. Angaben zu Richtwerten für eine Desinfektion mit Ozon sind in der Literatur über Wasseraufbereitung vertreten. Demnach sei 1 m^3 Wasser je nach Verunreinigungsgrad mit 0,5 – 2,0 g O_3 bei einer Einwirkdauer ≥ 4 Minuten für eine vollständige Sterilisation zu behandeln und nach vier Minuten sei davon noch 0,3 – 0,4 g/m^3 vorhanden [36]. Die Halbwertszeit für in Wasser gelöstes Ozon ist erheblich von dem vorliegenden Druck, der Temperatur und dem pH-Wert abhängig. Sie ist unter Normalbedingungen sowie pH 6 mit 20 Minuten verzeichnet und bei pH 8 bereits mit 5 Minuten [37]. Zerfällt das O_3 , entsteht dabei O_2 und O. Der zusätzliche Sauerstoff unterstützt das Wachstum und wirkt sich somit auch positiv auf die Ertragsmenge aus.

Da das mikrobiologische Habitat in der SCM nicht vollständig abgetötet werden soll, sind geringere Mengen an O_3 zu verwenden. Zwar gibt es Untersuchungen, die eine Behandlung von Gießwasser und auch Nährlösungen beschreiben, jedoch stellen u.a. *Nicoletto et al.* klar, dass entweder widersprüchliche Aussagen zu Mengenangaben auftreten, oder es wird nicht auf die resultierende Produktqualität eingegangen [17]. Alternative Richtwerte bieten Händlerangaben für Ozongeneratoren, die für eine Entkeimung von Teichen oder Aquarien genutzt werden. Beides impliziert die Berücksichtigung von Pflanzen aber auch Tieren im Wasser und trifft das Szenario einer Tiefwasserkultur somit besser als die in den Quellen oft exemplarisch vorangestellte Anwendung in der Trinkwasseraufbereitung. Entsprechend etablierte Händler für Aquaristik-Instrumente, wie etwa die *Erwin Sander Elektroapparatebau GmbH* geben Werte im Bereich von 50 – 200 $\frac{mg}{h}$ O_3 für ein maximales Volumen von 4000 l Süßwasser an [38]. Wie bereits festgelegt, fasst die MEPA maximal 2430 l und daher ist der ausgelegte O_3 -Massenstrom \dot{m}_{O_3} auf maximal 150 $\frac{mg}{h}$ determiniert.

Über die Gleichung (3) für den Zerfall eines Ausgangsstoffes mit einer bestimmten Halbwertszeit, kann ermittelt werden, über welchen Zeitraum der angestrebte Massenstrom generiert wird.

$$N(t) = N \cdot e^{-\left(\frac{t \cdot \ln(2)}{T_{1/2}}\right)} \quad (3)$$

Die Funktion beschreibt die exponentielle Abnahme einer bestehenden Größe von dem Wert N mit der Zeit t und der Halbwertszeit $T_{1/2}$. In dem hier vorliegenden Fall ist N von dem ansteigenden Wert für \dot{m}_{O_3} beeinflusst und damit ebenso zeitlich veränderlich. Gestartet mit dem Initialwert N_0 , ist mit einer Iteration der erwartete Anstieg des Ozongehalts mit 150 mg/h und einer Halbwertszeit von 20 Minuten in dem graphischen Verlauf in Abb. 22 dargestellt.

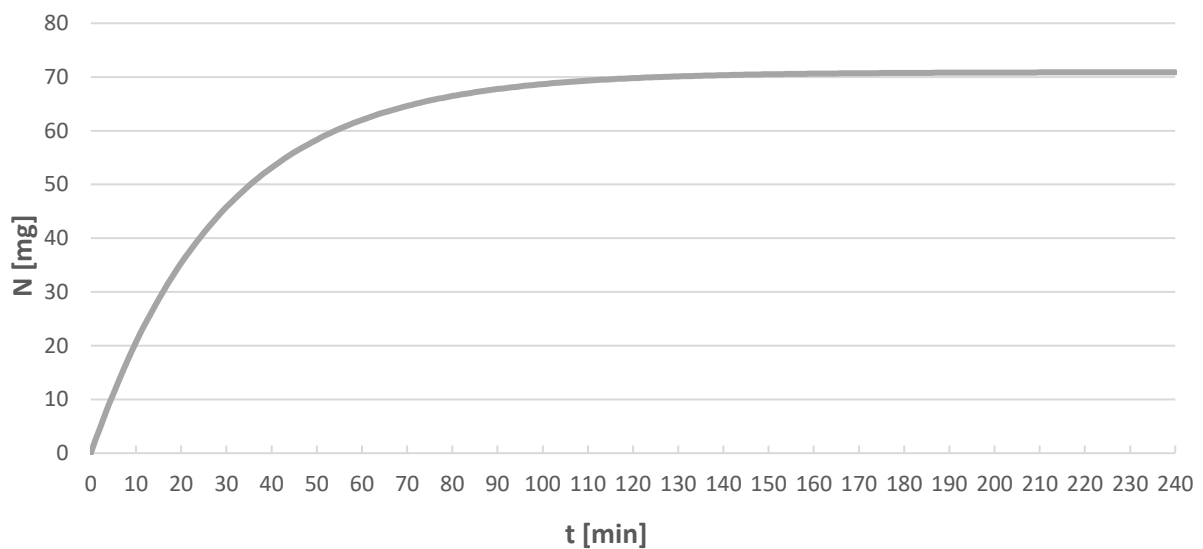


Abb. 22: Einstellung des flüchtigen Ozongehalts in Wasser auf 70 mg nach zweistündiger Betriebszeit der Ozonzellen; Quelle: Eigenanfertigung

mit

$$N_0 = 0 \quad \dot{m}_{O_3} = 150 \frac{\text{mg}}{\text{h}} = 2,5 \frac{\text{mg}}{\text{min}} \quad T_{1/2} = 20 \text{ min}$$

Damit entspricht die Iteration der folgenden Formel, abgeleitet von Gleichung (3), und gibt pro Minute den gelösten Ozongehalt im Wasser an.

$$N(t) = (N_{t-1} + 2,5) \cdot e^{-\left(\frac{\ln(2)}{20}\right)}$$

Dem Graph ist zu entnehmen, dass nach einer Einstellungszeit von ca. zwei Stunden ein dauerhafter Wert von ca. 70 mg O_3 im Wasser zu erwarten ist.

4.5.2. Auslegung der Sauerstoffversorgung

Für die gängigen Lösungen von O_3 -Generatoren wird eine Luftzufuhr benötigt, aber auch die direkte Ozonisierung im Wasser profitiert von zusätzlicher Luft bzw. Sauerstoff. Dieser geht nicht verloren, da bei der Ozonisierung das O_2 als Zerfallsprodukt wieder freigesetzt wird. Da nicht festgelegt ist, ob die Entkeimung dauerhaft in Betrieb ist, sollte nicht auf die zusätzliche Luftzufuhr verzichtet werden, die eine kontinuierliche Sauerstoffversorgung aufrechterhält.

Es gibt verschiedene Methoden zur Sauerstoffanreicherung. Im Gegensatz zu Ozon kann Sauerstoff gelagert und mitgeführt werden, oder beispielsweise mit einer Pumpe über die Außenluft bezogen werden. Mit Rücksicht auf die Leichtgewichtigkeit, einem geringen Energieverbrauch und einer möglichst geringen Komponentenanzahl, wird eine passive Lösung der Luftansaugung durch eine Venturi Düse bevorzugt. Das Wirkprinzip folgt dem mathematischen Gesetz von Bernoulli. Es besagt, dass die Summe der Drücke, also der Gesamtdruck, auf einer Stromlinie entlang konstant ist. Das Schaubild in Abb. 23 verdeutlicht die Gesetzmäßigkeiten.

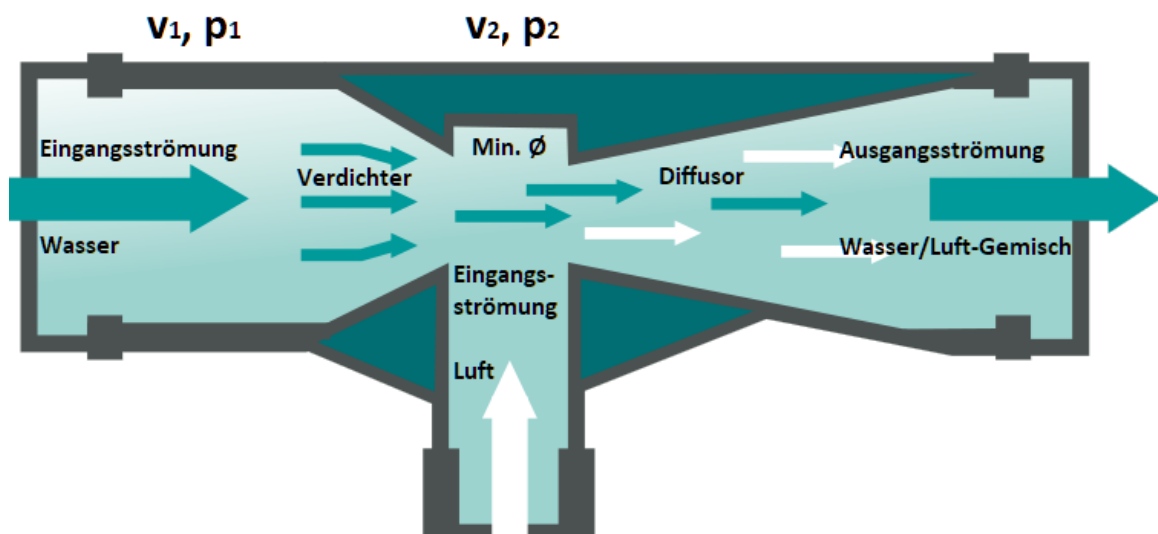


Abb. 23: Querschnitt einer Venturi Düse mit Ansaugung; Quelle: erweitert aus [39]

Durch die Querschnittsverengung steigt die Strömungsgeschwindigkeit und ist am geringsten Querschnitt maximal, wodurch der statische Druck minimal ist. Ist an der Einschnürung nun ein Zugang gelegt, kann der resultierende Unterdruck an dieser Stelle als Ansaugung für ein weiteres Medium genutzt werden. Über die Gleichungen (4) und (5) können die Parameter

und damit das eingespeiste Luftvolumen bestimmt werden. Es gelten die Voraussetzungen der Dynamik für ideale Flüssigkeiten (reibungslös, inkompressibel).

$$p_1 + \frac{\rho \cdot v_1^2}{2} + p_{h1} = p_2 + \frac{\rho \cdot v_2^2}{2} + p_{h2} \quad (4)$$

$$p_1 - p_2 = \frac{\rho}{2} (v_2^2 - v_1^2)$$

mit

p = statischer Druck

v = Strömungsgeschwindigkeit

ρ = Dichte, hier von Wasser

p_h = hydrostatischer Druck

Bei einer horizontalen Strömung ist der hydrostatische Druck an beiden Stellen gleich und kann aus der Gleichung eliminiert werden. Weiterhin ist die Dichte von Wasser bekannt und mit 997 kg/m^3 angegeben.

Für die Druckdifferenz reicht es aus, die Strömungsgeschwindigkeiten zu bestimmen. Diese korrelieren mit den Querschnittsflächen der Rohrabschnitte und können mit der Kontinuitätsgleichung zu einer übrigen Unbekannten zusammengefasst werden.

$$v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2 \quad (5)$$

Die Geschwindigkeit im ursprünglichen Rohrabschnitt v_1 ist über die Angaben der verwendeten Pumpe und deren Durchsatz gegeben. Mit der Auswahl einer Venturi-Düse und deren inneren Bohrungsdurchmessern, ist auch der tatsächliche Luftzustrom bestimmt. Die Zufuhr von Umgebungsluft bildet auch eine Schwachstelle für eventuelle Kontamination der SCM. Als Schutzmaßnahme ist ein Luftfilter am ASU-Gehäuse vorgesehen.

4.5.3. Auslegung der Nährstoffversorgung

Die Nährstoffversorgung stellt sicher, dass die korrekte Nährstoffkonzentration und der korrekte pH-Wert in der für die Pflanzen bereitgestellte Nährlösung vorhanden sind. Die Konzentration ist abhängig von der Kultursorte und der Wachstumsphase, in der sich die Pflanze befindet. Bei dem vorliegenden Beispiel für Salat ist die Bereitstellung vereinfacht, da Salat bis zur Ernte nur eine, die vegetative Phase durchlebt. Dessen ungeachtet sind stets genügend Nährstoffe in Reserve zu halten, um die gewünschte Konzentration aufrechtzuerhalten.

Ein pflanzenspezifischer Verbrauch ist ein gut beleuchtetes Forschungsthema. Angaben sind beispielsweise von *Wheeler, et al.* für Studien in der *BPC* am *Kenedy Space Center* einzusehen. *Tabelle 10* gibt die erhobenen Verbrauchswerte für Salat wieder.

Tabelle 10: Verbrauchsangaben zu Salat pro erzeugter Trockenbiomasse; Quelle: [33]

	Wasserverbrauch pro Trockenbiomasse	Nährstoffkonzentrat pro Trockenbiomasse	Säure pro Trockenbiomasse
Salat	0,34 l/g _{dw}	0,034 l/g _{dw}	0,0618 g/g _{dw}

Zwar sind die Angaben in Bezug auf das Trockengewicht aufgestellt, jedoch könnte mit Hilfe des Wasseranteils im Salat ein Rückschluss auf den Verbrauch pro Salat getroffen werden. Der Wassergehalt in Salat ist mit 95 %, und das Gesamtgewicht eines Salatkopfes mit 500 g angenommen. Daraus ergäben sich 25 g Trockenmasse und 0,85 l Nährstoffkonzentrat pro Salat. Zum Vergleich führt dieser Ansatz zu einem Wasserverbrauch von 8,5 l pro Pflanze und liegt damit weit über dem ermittelten Verbrauch durch transpiriertes Wasser aus *Tabelle 9* mit 3,13 l pro Pflanze. Demnach ist die Annahme als nicht aussagekräftig eingestuft.

Einen Hinweis zur Ermittlung der benötigten Nährstoffmenge liefert jedoch das Nährstoffkonzentrat. Gemeint ist damit ein Nährstoffgemisch, das weit verbreitet zu wissenschaftlichen Untersuchungen von Pflanzenwachstum eingesetzt wird. Die sog. *Hoagland-Lösung* beinhaltet alle wachstumsrelevanten Nährstoffkomponenten und ist nach der Erfindung durch ihren Namensgeber weiter angepasst worden, wird aber teilweise bis heute in ihrer ursprünglichen Form angewandt [21]. Die Bestandteile und deren Konzentrationen sind in *Tabelle 11* aufgeführt.

Tabelle 11: Entwicklung der Hoagland-Nährstoffzusammensetzung 1938 – 1984; Quelle: [21]

Element	Hoagland (1938)	Hewitt (1966)	Cooper (1979)	Steiner (1984)
	[mg/l]			
N	210	168	200-236	168
P	31	41	60	31
K	234	156	300	273
Ca	160	160	170-185	180
Mg	34	36	50	48
S	64	48	68	336
Fe	2,5	2,8	12	2-4
Cu	0,02	0,064	0,1	0,02
Zn	0,05	0,065	0,1	0,11
Mn	0,5	0,54	2	0,62
B	0,5	0,54	0,3	0,44
Mo	0,01	0,04	0,2	-

Eine solche Lösung ist entsprechend der Kultursorte und deren Entwicklungsstadium zu verdünnen. Für das Trockengewicht, also der tatsächlichen Menge an verwendeten Nährstoffen, muss der Herstellungsprozess betrachtet werden, da die einzelnen Nährstoffelemente nicht in reiner Form zur Verfügung stehen. Über je eine Stammlösung aus Ausgangsstoffen, welche anteilig die benötigten Nährstoffelemente beinhalten, wird die Hoagland-Lösung zusammengesetzt und weiter mit Wasser verdünnt.

Tabelle 12 zeigt die Ausgangsstoffe und deren Konzentrationen nach einer Rezeptur zur Herstellung der *Hoagland-Lösung* [40]. Aus den molaren Massen und den Stoffmengenkonzentrationen ist das resultierende Gesamtgewicht errechnet.

Tabelle 12: Ausgangsstoffe und deren Konzentrationen zur Herstellung einer Hoagland-Nährstofflösung mit resultierendem Gesamtgewicht der Feststoffkomponenten pro Liter Lösung; Quelle: Eigenanfertigung

Komponente	molare Masse [g/mol]	Stoffmengen- konzentration [mmol/l _S]	Massen- konzentration [g/l _S]	Stamml./ Hoagland [ml _S /l _H]	Massen- Konzentration [g/l _H]
Makronährstoffe					
KNO ₃	101,1	1000	101,1	6	0,6066
Ca(NO ₃) ₂ •4H ₂ O	236,16	1000	236,16	4	0,94464
NH ₄ H ₂ PO ₄	115,08	1000	115,08	2	0,23016
MgSO ₄ •7H ₂ O	246,48	1000	246,48	1	0,24648
Mikronährstoffe					
KCl	74,55	25	1,86375	2	0,0037275
H ₃ BO ₃	61,83	12,5	0,772875	2	0,00154575
MnSO ₄ •H ₂ O	169,02	1	0,16902	2	0,00033804
ZnSO ₄ •7H ₂ O	287,53	1	0,28753	2	0,00057506
CuSO ₄ •5H ₂ O	249,69	0,25	0,0624225	2	0,000124845
H ₂ MoO ₄	161,95	0,25	0,0404875	2	0,000080975
Na•Fe•DTPA (10% Fe)	558,66	53,7	30	0,6	0,018
					Σ 2,05227217

Eine Hoagland-Lösung enthält somit ca. 2 g der nährstoffhaltigen Ausgangsstoffe pro Liter Wasser. Für die Versorgung von Salat sind typische Verhältnisse für die weitere Verwässerung mit 1:4 bis 1:5 vorgesehen [20] [21]. Autoren beziehen sich dabei stets auf hydroponische Systeme. Mit Rücksicht darauf, dass ein Nährstoffmangel einfacher zu beheben ist, also ein Nährstoffüberschuss, ist das Verhältnis 1:5 bevorzugt. Demnach sind in einer Nährlösung für Salat 0,41 g/l Nährstoffe enthalten. Eine Salatpflanze kommt bei 3,13 l auf 1,28 g Nährstoffe und eine gesamte SCM (85 Stk.) auf 108,8 g.

Abseits der Verwendung einer Hoagland-Lösung sind Angaben zu Nährstoffmengen aus kommerziellen Anwendungsbeispielen herangezogen. Es sei dabei das *Institut für Technologien im Gartenbau GmbH* genannt, welches das Produkt *Bottlecrop* vertreibt. Eine

minimalistische Anzuchteinheit nach hydroponischem Ansatz. Abb. 24 zeigt eine Variante für Blattsalat.



Abb. 24: Bottlecrop Anzuchteinheit für Blattsalat; Quelle: bottlecrop.com

In einem lichtgeschützten 2 l Behälter wachsen die Wurzeln direkt in die vorgefertigte Nährlösung. Diese besteht aus 18 % Stickstoff N, 11 % Phosphorpentoxid P_2O_5 , 18 % Kaliumoxid K_2O , 2,5 % Magnesiumoxid MgO sowie additiven Mikronährstoffen in Wasser gelöst. Der Nährstoffbedarf ist mit 1 g/l abgedeckt [41] und beträgt in etwa das Zweifache des errechneten Bedarfs. Auf die Versorgung mit Calcium wird verzichtet.

Die Auseinandersetzung mit Herstellern von Düngemittel führt zu weiteren Ergebnissen. Auf Anfrage stellt der Hersteller YARA GmbH & Co. KG eine detaillierte Auflistung zu seiner Produktreihe YaraTera FERTICARE zur Verfügung, welche alle relevanten Daten zur Verwendung von voll-wasserlöslichen Mehrnährstoffdüngern umfasst. Die gesamte Liste ist im Anhang einzusehen. Ein Ausschnitt zur hydroponischen Nährstoffversorgung von Salat ist in Abb. 25 gezeigt.

Allgemeine Pflanzenempfehlung: YaraTera Ferticare Salat

Diese allgemeine Pflanzenempfehlung sollte stets den örtlichen Bedingungen und Umständen angepasst werden.

Nur Phase 1:

Die Rezeptur ist speziell für NFT-Systeme, jedoch auch im Freien geeignet. Das Verhältnis zwischen Kalzium und Kalium ist 1 zu 2. (Ca/K 0,48)

1: YaraTera Ferticare Lösung – für Tropfwasser EC 2,2 Fügen Sie dem Dünger Wasser hinzu.

- = 1,24 g/l YaraTera Ferticare Salat
- = 1,00 g/l YaraLiva Calcinit
- = Gewünschte Düngertlösung

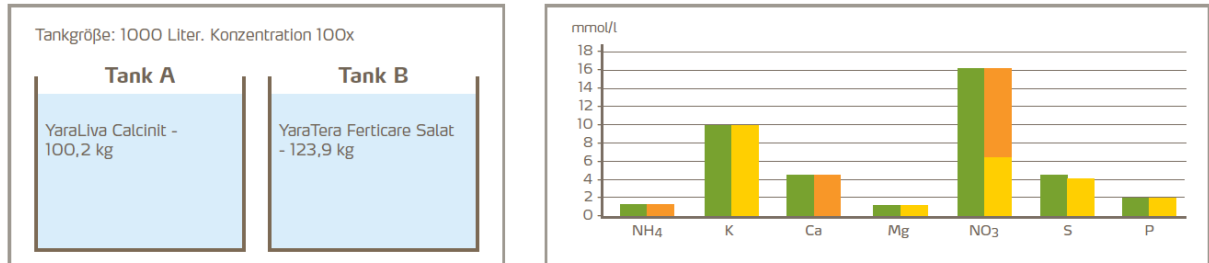


Abb. 25: Auszug YaraTera Ferticare Düngeschema für Salat; Quelle: [42]

Die Ausgangskomponenten sind auf zwei Feststoffgemische in separaten Nährstoffreservoirs aufgeteilt und in Wasser gelöst. Grund für die Aufteilung ist, dass sich Calciumnitrat verfestigt, sobald es in hohen Konzentrationen dem übrigen Nährstoffgemisch ausgesetzt ist. Treffen die Komponenten A und B in ausreichend Frischwasser aufeinander, ist die Reaktionsfreudigkeit aufgehoben. *Tabelle 13* gibt die kulturspezifischen Düngerezepturen an.

Tabelle 13: Yara Rezepturübersicht hydroponischer Düngemittel nach Kultursorte; Quelle: [42]

Makronährstoffe [Gew.-%]	NO ₃	NH ₄	N-total	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	SO ₃	EC bei 1 g/l
Tomate	3	-	3	10	30	8	28	1,2
Paprika & Gurke	7	-	7	10	30	7	14	1,3
Erdbeere	6,5	0,5	7	9	28	8	17	1,2
Salat	7	-	7	9	37	3	13	1,2
Rose	6	1	7	11	24	8	16	1,2
Mikronährstoffe [Gew.-%]	B	Cu EDTA	Fe EDTA	Fe DTPA	Fe EDDHA	Mn EDTA	Mo	Zn EDTA
Tomate, Paprika, Gurke & Erdbeere	0,022	0,004	0,06	0,08	-	0,033	0,003	0,022
Salat & Rose	0,02	0,004	-	0,14	0,01	0,033	0,003	0,021

Die Angabe von *Yara* mit insgesamt 2,24 g Feststoffdünger pro Liter Wasser ist die höchste Angabe für die Nährstoffkonzentration. Der Gesamtbedarf pro Salat beträgt 7 g und pro SCM 596 g. Einer konservativen Auslegung dienlich, sind diese Werte als Voraussetzung für die Dimensionierung der Nährstoffversorgung angenommen. Die für den Betrieb geeignete Nährstoffmenge, sowie der Bedarf an Säure und Base, ist empirisch anhand des fertiggestellten EM zu erheben.

Für die Umsetzung der Nährstoffversorgung stehen zwei Konzepte zur Auswahl. Dem eingangs gezeigten Blockdiagramm (s. Abb. 21) mit dem Ansatz, Flüssigdünger über Mikropumpen zu fördern, steht ein weiterer Ansatz mit einem Spülstein-Konzept in Abb. 26 gegenüber.

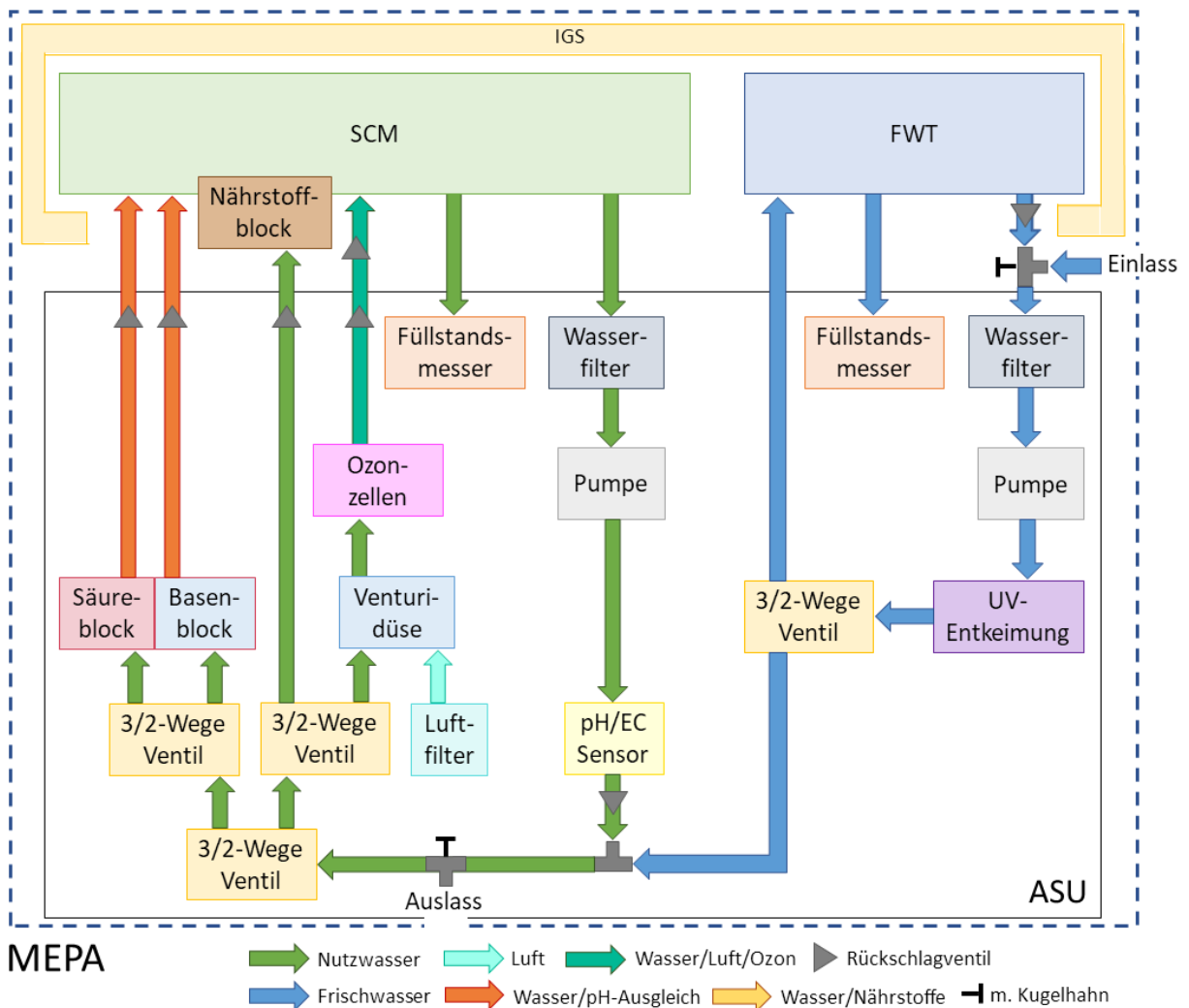


Abb. 26: Blockdiagramm der ASU Funktionen mit alternativer Nährstoffversorgung per Spülstein; Quelle: Eigenanfertigung

Das Konzept sieht Feststoff-Spülsteine vor, die Nährstoffe bzw. Säure oder Base in den Wasserkreislauf abgeben, sobald diese umspült werden. Über ein Ventilsystem kann je nach Schaltstellung die Strömung zu einem Spülstein, oder ohne Anpassungsbedarf direkt in die SCM geleitet werden. Das Konzept entspringt hauptsächlich dem Anspruch, eine SCM so auszustatten, dass zum Betrieb möglichst keine zusätzlichen Hilfsmittel und -güter benötigt werden. Nährstoffe, die bereits bei der Auslieferung integriert sind, weisen als Feststoffkörper geringere Massen, Volumen und eine bessere Lagerfähigkeit vor.

Die benötigte Menge an Nährstoffen ist bekannt und mit Hinblick auf pharmazeutische Verarbeitungsprozesse für eine geregelte Wirkstofffreigabe in wasserlöslichen Medikamenten liegen vielversprechende Trägermaterialien zur Hand, die sich ebenso für die Aufnahme von Nährstoffen eignen. Dennoch birgt die Herstellung eines Nährstoff-Spülsteins eine Herausforderung. Bei Abtragung des wasserlöslichen Materials ist bei der Zusammensetzung und Formgebung die Reduktion der Oberfläche miteinzubeziehen. Weiterhin sind bei Kulturen mit bis zu drei Wachstumsphasen die Nährstoffe an die vorliegende Phase anzupassen. *Abb. 27* verdeutlicht das Spülstein-Konzept.

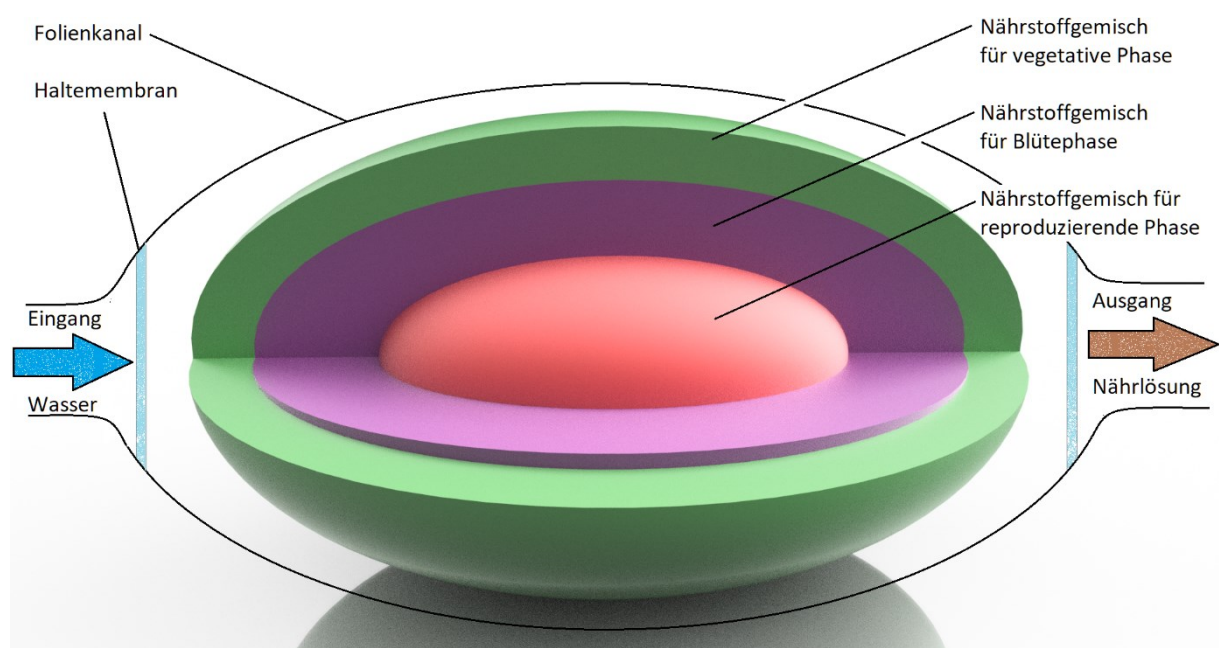


Abb. 27: Konzeptioneller Nährstoff-Spülstein mit wechselnder Zusammensetzung nach Wachstumsphase; Quelle: Eigenanfertigung

Nicht berücksichtigt ist die Freisetzung von Calcium, das ebenso separat konzentriert einzubringen ist und stets Anteile an der Oberfläche einzunehmen hat. Eine Möglichkeit wäre

die Kombination aus zwei Halbschalen. Möglich ist auch die Abspaltung von Calcium als eigener Spülstein. Gehalten von einer Membran, soll ein Spülstein direkt in den eingeschweißten Leitungsverlauf integriert werden.

Anhand der folgenden *Tabelle 14* mit dem Vergleich der Vor- und Nachteile beider Konzepte kann eine Auswahl getroffen werden.

Tabelle 14: Vergleich Vor- und Nachteile zur Umsetzung der Nährstoffversorgung mit Feststoff- oder Flüssigdünger; Quelle: Eigenanfertigung

Spülsteine		Flüssigkomponenten	
Vorteile	Nachteile	Vorteile	Nachteile
Keine Mikropumpen	Dosierbarkeit unbekannt	Weniger Ventile verbaut	Mikropumpen sind anfällig für Defekte
Wartungsarm	Zusätzlicher Herstellungsprozess	Bessere Eingliederung in Lebenserhaltungssysteme	Verwechslungen möglich
Handhabung bei Befüllung	Zersetzung in stehendem Wasser	Inhaltsstoffe können variieren	
Platzsparend			

Auf den ersten Blick überwiegen die Vorteile, die für den Spülstein sprechen, jedoch sind für die Nachteile keine klar definierten Lösungsansätze in Aussicht. Abgesehen davon, dass die Handhabung und ein zusätzlicher Herstellungsprozess etliche Unbekannte hervorbringen, stellt die Trockenhaltung des Spülsteins eine Herausforderung dar. Denn während der Betriebszeit, in der keine Nährstofffreigabe erwünscht ist, ist die Oberflächenreaktion am Spülstein zu unterbrechen bzw. der Kontakt mit Wasser aufzuheben. Eine vertikale Anordnung eines entsprechenden Bypasses, in dem die Möglichkeit für ein Abtropfen und Dehydrieren gegeben ist, könnte Abhilfe leisten, jedoch wirft eine Umsetzung weitere Fragen auf, deren Beantwortung auf empirische Untersuchungen angewiesen ist.

Ziel ist es, die Funktion aller Betriebsabläufe anhand eines EMs zu gewährleisten und eine Plattform zu schaffen, worauf die Durchführung umfassenderer Tests ermöglicht ist. Daher fällt die Entscheidung zugunsten einer Nährstoffversorgung durch Flüssigkomponenten aus, deren Dosierung via Mikropumpen mit geregelter Durchsatz realisiert ist und ist im weiteren Designprozess verfolgt.

Die Reservoirs für insgesamt vier gelöste Konzentrate (Nährstoffe A, Nährstoffe B, Säure, Base) müssen ausreichend Volumen für die Versorgung eines ganzheitlichen Wachstumszyklus einer SCM fassen und das Konzentrat muss vollständig gelöst sein, um die Dosierpumpen nicht zu beeinträchtigen. Das Verdünnungsverhältnis aus der Anwendungsempfehlung für Yara Düngerkompositionen dient als Vorgabe.

Es sind 333 g Calciumnitrat (Komponente A) und 413 g der Mischung für Salat (Komponente B) benötigt, um den Verbrauch von 333 l Wasser inkl. 20 % Marge mit der Gesamtkonzentration 2,24 g/l (1,0 + 1,24) zu lösen. Da eine SCM bis zu 700 l aufnimmt und die Höhe 10 cm beträgt, sind innerhalb der SCM sowohl niedrigere als auch schwankende Konzentrationen zu erwarten. Mit Bezug auf *Kapitel 2.3.1. Nährstoffmanagement in hydroponischen Systemen* wird davon ausgegangen, dass es aufgrund der Selektivität in der Nährstoffaufnahme ohnehin zielführender ist, die Nährstoffkonzentration nicht konstant zu halten und den totalen Nährstoffbedarf somit nicht zu überschreiten. Die Konzentration wird also mit 2,24 g/l für 333 l Transpirationswasser beibehalten und nicht auf das 700 l SMC-Volumen ausgedehnt. Das Fassungsvermögen der vier Behälter errechnet sich aus der 100-fachen Konzentration zu 3,33 l Wasser, zuzüglich des Volumens der jeweiligen Feststoffkomponente, also zu maximal 3,7 l und wird auf 4,0 l aufgerundet.

Die Dosierpumpen sind mit der Sensorik für den EC- und pH-Wert gekoppelt. Da die EC-Sonde hauptsächlich die Rückstände von Calcium, Magnesium und Sulfaten in der Lösung detektiert und somit nicht von den Schwankungen aufgrund der differenziellen Nährstoffaufnahme betroffen ist [20], ist dies eine verlässliche Messmethode, um den totalen Nährstoffgehalt zu bestimmen. Bei dem Einsatz von Basen und Säuren ist darauf zu achten, dass typischerweise verwendete nitrat-, schwefel- oder phosphorhaltige pH-Ausgleichsmittel auch Inhaltsstoffe zu der Nährstofflösung beitragen und somit in den totalen Nährstoffgehalt einzukalkulieren sind.

4.5.4. Auslegung der Energieversorgung

Zugunsten der Mobilität des Systems, ist eine autarke Energieversorgung vorgesehen. Hierbei wird sich fachgerecht an dem Stand der Technik im Satellitenbau orientiert, der einen Betrieb über hocheffiziente Solarmodule vorsieht.

In der hiesigen Literatur bietet *Charles D. Brown* in seinem Werk *Elements of spacecraft design* [43] eine Veranschaulichung des Berechnungsverlaufs dar, anhand dessen die Energiebilanz für die ASU aufgestellt ist.

Die Grundvoraussetzung für ein mit Solarenergie betriebenes System, besteht darin, dass der Gesamtverbrauch an elektrischer Energie der Anlage allein über die Zyklen mit einstrahlendem Sonnenlicht abgedeckt ist. Für die Solarzellen bedeutet dies, dass ausreichend Energie für den Betrieb und für das Aufladen einer Batterie bei Tag umzuwandeln ist, die den Betrieb in der Nacht ermöglicht. Zusätzlich ist die Abdeckung jeglicher Verlustfaktoren einzuplanen. In *Abb. 28* ist ein Schema für ein System mit direkter Energieübertragung (direct energy transfer system DET) und den einzelnen Komponenten mit dazugehörigen Verlustfaktoren dargestellt.

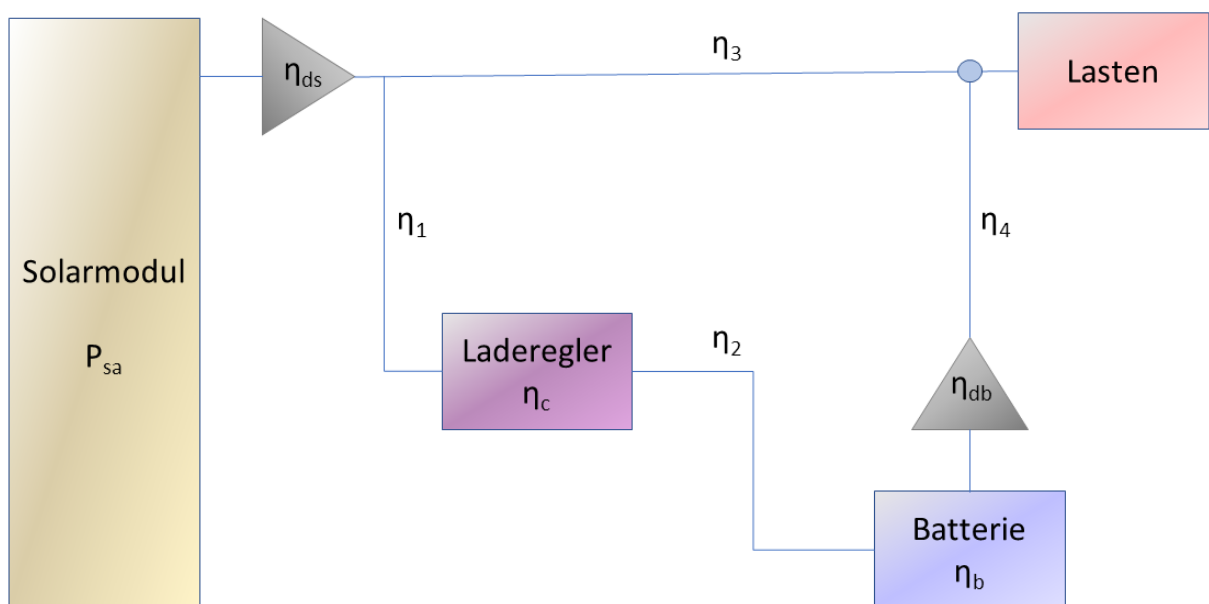


Abb. 28: Energieschaltung inkl. Verlustfaktoren in einem typischen System mit direkter Energieübertragung (DET) mit η_c = Wirkungsgrad Ladegerät, η_b = Wirkungsgrad Batterie, η_d = Wirkungsgrad Dioden, η_{1-4} = Wirkungsgrad Leitungen; Quelle: Nachempfindung [43]

Die Abbildung zeigt den Stromkreis einer Lastenversorgung durch ein Solarmodul-Batterie-System inklusive der Verlustfaktoren von Ladegerät, Batterie, Dioden und des Leitungsverlaufs.

Der Berechnung liegt die Bilanz von ein- und ausgehender Energie zugrunde und ist in *Gleichung (6)* aufgestellt.

$$E_{sa} = E_n + E_d \quad (6)$$

mit

E_{sa} = benötigte Energie für das Solarmodul

E_n = verbrauchte Energie bei Nacht

E_d = verbrauchte Energie bei Tag

Die einzelnen Terme können als ein Produkt aus Leistung und Zeit ausgedrückt werden, woraus sich *Gleichung (7)* ergibt.

$$P_{sa}T_d = P_nT_n + P_dT_d \quad (7)$$

mit

P_{sa} = gemittelte Arbeitsleistung des Solarmoduls bei Tag [W]

T_d = Dauer der Sonneneinstrahlung [h]

T_n = Dauer in Dunkelheit [h]

P_n = gemittelter Leistungsverbrauch der Verbraucher in Dunkelheit [W]

P_d = gemittelter Leistungsverbrauch der Verbraucher bei Sonneneinstrahlung [W]

Werden die Verluste aus *Abb. 28* miteinbezogen, ergibt sich folgender Ausdruck in *Gleichung (8)*.

$$P_{sa} = \frac{P_nT_n}{X_{a-b}X_{b-l}T_d} + \frac{P_d}{X_{a-l}} \quad (8)$$

mit

$X_{a-l} = \eta_{ds} \eta_3$

$X_{a-b} = \eta_{ds} \eta_1 \eta_c \eta_2 \eta_b$

$X_{b-l} = \eta_{db} \eta_4$

Die nachfolgende *Tabelle 15* liefert die benötigten Werte der Verbraucher, um *Gleichung (8)* nach der benötigten Leistung des Solarmoduls P_{sa} aufzulösen. Es sei zu beachten, dass die

Dauer der Tag- und Nachtzeiten ortsabhängig und dementsprechend anzupassen ist. Hier sind Zeiten zu jeweils 12 Stunden gleichgesetzt.

Tabelle 15: Leistungsangaben zu den Verbrauchern der ASU; Quelle: Eigenanfertigung

Komponente	Anzahl	max. Leistung [W]	max. Dauer/Tag [h]	max. Dauer/Nacht [h]	max. Energie/Tag [Wh]	max. Energie/Nacht [Wh]
Pumpe	2	34	12	12	816	816
Füllstandsmesser	2	0,2	12	12	4,8	4,8
UV-Lampe	1	10	12	12	120	120
Ozonzelle	3	3,6	12	12	129,6	129,6
Ventil	1	12	2,12*	2,12*	25,44	25,44
Mikropumpe	4	2,4	0,02**	0,02**	0,192	0,192
Durchflusssensor	2	2,4	12	12	57,6	57,6
DHCS inkl. Router	1	7,2	12	12	86,4	86,4
Σ		122,8			1240,03	1240,03

* Dauer der erzwungenen Ventilstellung bei initialer Befüllung der SCM bei Tag oder Nacht

** Dauer bei initialer Bereitstellung der Nährstoffkonzentration in der SCM mit gegebener Förderleistung der Mikropumpen bei Tag oder Nacht

Die Tabelle basiert auf der in Kapitel 5.1. Komponentenauswahl für die ASU getroffenen Auswahl für el. Komponenten. Dazugehörige Datenblätter sind im Anhang einzusehen. Weiterhin sind in Tabelle 16 die Wirkungsgrade der Komponenten und Verkabelung aus Abb. 28 aufgelistet.

Tabelle 16: Zu berücksichtigende Verlustfaktoren zur Auslegung eines DET-Systems

η_{1-4}	0,95
η_c	0,98
η_b	0,99
η_{ds}	-
η_{db}	-

Der Verlust durch Leitungen ist abhängig von dem Durchmesser und der Länge der Verkabelung und ist hier standardmäßig mit 5 % angegeben. Die Dioden sind nicht

miteinbezogen, da sie bereits bei den aus den Herstellerangaben entnommenen Werten für Solarzellen und Batterie einkalkuliert sind. Weiteres hierzu ist den Datenblättern zu den vorgesehenen Komponenten im Anhang einzusehen.

Mit den gegebenen Werten liefert *Gleichung (8)*:

$$E_{sa} = 2796 \text{ Wh}$$

$$P_{sa} = 233 \text{ W}$$

Die ausgewählten Solarzellen produzieren unter Testbedingungen im Labor (1000 W/m^2 , 25°C) 1042 mW pro Zelle. Verluste durch

- Abschattung
- Widerstand
- Zyklen
- Kontamination
- Mismatch
- Pointing

sind für den schlimmsten Fall mit insgesamt 0,9 abgeschätzt. Die maximal zu erwartende Temperatur der Module liegt bei 80°C (s. Datenblatt). Folglich kann die Anzahl der benötigten Solarzellen über die verlustbehaftete Leistung in *Gleichung (9)* berechnet werden.

$$P_{sc} = 1,042 \frac{\text{W}}{\text{Zelle}} \cdot 0,9 = 0,9378 \frac{\text{W}}{\text{Zelle}}$$

$$P_{sc,80^\circ\text{C}} = P_{sc} \cdot (1 - 0,005(T_2 - T_1)) = 0,9378 \cdot (1 - 0,005(80 - 20)) \quad (9)$$

$$P_{sc,80^\circ\text{C}} = 0,65646 \frac{\text{W}}{\text{Zelle}}$$

$$\frac{P_{sa}}{P_{sc,80^\circ\text{C}}} = \frac{233\text{W}}{0,65646 \frac{\text{W}}{\text{Zelle}}} = 355 \text{ Zellen}$$

Da die Zellen paarweise und symmetrisch auf einem Panel angeordnet sind, wird die Anzahl vorerst auf 360 Zellen angehoben, was 180 Zellpaare bzw. zwei Module mit je 5x18 Paare

entspricht. Mit den Maßen der unter *Kapitel 5.1. Komponentenauswahl für die ASU* ausgewählten Solarzelle findet bei der Aufteilung auf zwei Solarmodule maximal eine Zellenanordnung von 4x19 Paare Platz auf der Oberseite des ASU-Gehäuses. Diese Konfiguration enthält 304 Zellen, die zusammen 200 W leisten. Die 233 W für die berechnete Leistung gehen von sämtlichen Maximalleistungen aus, die zu keinem Zeitpunkt gleichzeitig erreicht werden und zudem wird von einer kontinuierlichen Entkeimung und Überwachung ausgegangen, was nicht als zwingend notwendig erachtet ist. Aus diesen Gründen ist die Entscheidung getroffen, dass auf Kosten der Marge für die Berechnung der benötigten Leistung der Solarmodule, 304 Zellen als ausreichend angesehen werden und nicht auf ein drittes Solarmodul, bzw. auf eine Erweiterung der Module über die Deckenmaße der ASU, zurückgegriffen werden muss. Die Werte sind angepasst zu

$$E_{sa} = 2400 \text{ Wh}$$

$$P_{sa} = 200 \text{ W}.$$

Die Auslegung des Energiespeichers erfolgt über *Gleichung (10)*.

$$E_b = \frac{E_n}{X_{b-l}} = 1120 \text{ Wh} \quad (10)$$

Da eine Tiefenentladung der Batterie verhindert werden soll, ist die Gleichung mit einem Faktor zu erweitern, der die prozentual verbleibende Energiedichte nach einem Entladungszyklus angibt (depth of discharge DOD). Es erfolgt der Ausdruck in *Gleichung (11)*.

$$E_b = \frac{E_n}{X_{b-l} DOD} = 1244 \text{ Wh} \quad (11)$$

mit DOD = 0,95

Die maximale Entladung, sowie die Temperatur bestimmen die Lebensdauer einer Batterie. Beide Werte variieren zwischen verschiedenen Zelltypen bzw. dem verwendeten Medium, mit welchem eine Batterie betrieben wird. Da hier eine Lithium-Eisenphosphat-Batterie

eingepplant ist, und diese laut Hersteller ohne Verluste mit 100 % DOD betrieben werden könne, ist dennoch ein Wert von 0,95 in der Rechnung mit einbezogen, da die Lebensdauer für jeden Batterietyp davon profitiert, eine Tiefenentladung zu umgehen. Für den Testbetrieb und der Ermittlung des tatsächlichen Verbrauchs ist eine Marge von 100 % gerechtfertigt und die Arbeitsleistung liegt somit bei 2240 *Wh*. Die nächstliegende handelsübliche Batteriegröße nennt 2600 *Wh*. Da verschiedene Batteriegrößen jedoch einen massiven Unterschied in Gewicht und Baugröße aufzeigen, sei für den Gebrauch eines Auslieferungsmodells der MEPA, zu einer nächstkleineren 1280 *Wh* Batterie geraten, die rund 50 % Batteriegewicht einspart.

4.6. Leitungen und Anschlüsse

Der Leitungsverlauf ist anhand einer Reihe von Kriterien ausgelegt, die vorerst definiert sind.

- Die initiale Befüllung soll möglichst zeitnah geschehen
- Die Strömungsgeschwindigkeiten sind in jedem Fall subsonisch zu halten $Ma < 0,8$
- Bei maximalem Tankvolumen soll der komplette Inhalt in angemessenen Intervallen den Zirkulationskreislauf durchlaufen
- Komponenten müssen nicht auf nennenswerte Druckbelastung ausgelegt werden, da es sich in der SCM um ein offenes System mit dynamischem Gleichgewicht handelt, bis die Zuflussquelle (FWT) versiegt
- Zugunsten von Handhabung, Gewicht, Preis und geringer Komplexität sollte auf industriegerechte Standardkomponenten zurückgegriffen werden
- Der Energiebedarf für die Zirkulation soll möglichst gering ausfallen

Insbesondere die Schnittstellen zu den entfaltbaren Komponenten verfügen über eine eingeschränkte Auswahl verfügbarer Anschlüsse. Dennoch kann sich an Beispielen aus der Industrie orientiert werden. In der Lebensmittelbranche, genauer bei der Getränkeabfüllung und Lagerung dienen einige Produktionsprozesse unter klinisch reinen Bedingungen als Vorzeigemodell. In *Abb. 29* ist ein Anwendungsbeispiel gezeigt, das hinsichtlich der Materialien und Verarbeitung als ein Vorbild für die Umsetzung der flexiblen MEPA-Komponenten gilt.



Abb. 29: Bag-in-Box Behälter aus geschweißter Folienstruktur mit starrem Anschluss als Anschweißadapter, Zapfhahn und alternativen Gewindeadapter; Quellen: [44] [45]

Gängige Adapter haben ein Gewindemaß von 3/4 Zoll und können damit ohne weitere Umstände in den Leitungsverlauf integriert werden. Im Laufe der Auslegung wird festgelegt, ob ein Leitungsdurchmesser in dieser Größe mit den genannten Anforderungen übereinstimmt und für das Gesamtsystem in Frage kommt. Um einige Leitungsabschnitte bestimmen zu können, sind an den nötigen Stellen Inhalte aus dem *Kapitel 5.1. Komponentenauswahl für die ASU* vorausgegriffen, da die jeweiligen Anschlussgrößen der Komponenten den Leitungsverlauf ausgiebig bestimmen.

Die Förderung der Fluide geschieht mit je einer Pumpe pro Zirkulationskreislauf und die angezielte Förderleistung ist so ausgewählt, dass die Kriterien für Energieeinsparung und angemessene Prozesszeiten gewahrt sind. Als weiter Orientierungspunkt seien die Messintervalle der verwendeten Sensorik mit angeführt. Wie in *Kapitel 2.3.2. Einfluss von pH- und EC-Wert auf die Nährstoffaufnahme* bereits erwähnt, sind EC-Messungen so zu frequentieren, dass die tatsächliche Werteänderung mit einer sinnvollen Anzahl an Messungen begleitet wird. Der EC-Wert ändert sich im Vergleich zu dem pH-Wert sehr langsam und es reicht aus ca. drei Messungen pro Woche aufzunehmen [20] [13]. Zwar soll für eine gute Durchmischung der Nährlösung gesorgt werden und das Venturi-Prinzip setzt eine gewisse Strömungsgeschwindigkeit voraus, allerdings ist es überflüssig, den gesamten Inhalt innerhalb eines Messintervalls in einer zu hohen Frequenz zirkulieren zu lassen, sodass eine rapide Homogenisierung eintritt, die Registrierung der Werte aber ohnehin auf sich

warten lässt. Demnach richtet sich die gesuchte Förderleistung nach einem ein bis drei Mal täglich beförderten Maximalvolumen (2430 l), oder einem Volumenstrom von 1,7 – 5,0 l/min. Geeignete Pumpen in dieser Größenordnung haben standardmäßig einen Anschluss der maximalen Größe G 3/8 Zoll vorzuweisen. Auch die allgemeine Fließgeschwindigkeit richtet sich nach der Pumpe, weshalb darauf geachtet ist, die Leitungsdurchmesser nicht geringer als den engsten Querschnitt in der Pumpe ausfallen zu lassen. Davon ausgenommen ist die Nährstoffeinspritzung sowie die Venturi-Ansaugung. Bei 5,0 l/min dauert eine initiale Befüllung etwa acht Stunden und wird in Relation zu einem gesamtheitlichen Wachstumszyklus als vertretbar betrachtet, sollte jedoch nicht weiter verzögert werden. Adapter für Schläuche und Rohrleitungen mit den Anschlussgrößen G 3/8“ und G 3/4“ sind kompatibel mit Leitungsdurchmessern von 8 bis 22 mm, eine gemeinsame Schnittmenge ist allerdings nur bei einem Außendurchmesser von 12 mm gegeben. Soweit die Strömungsgeschwindigkeit hierfür unter der geforderten Grenze $Ma < 0,8$ liegt, können die gesamten Leitungen für die Kreisläufe mit demselben Leitungsdurchmesser verlegt werden. Der Innendurchmesser ist bei den Hauptleitungen mit 10 mm gegeben und geht mit 8 mm, durch evtl. auftretende Verengungen, in die folgende Berechnung ein. Mit der Gleichung (12) ist die Strömungsgeschwindigkeit v in Abhängigkeit des Volumenstroms Q und der Leitungsquerschnittsfläche A direkt zu erfassen.

$$Q = v \cdot A \quad (12)$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{5 \frac{l}{min}}{\pi \cdot (4mm)^2} = 1,66 \frac{m}{s}$$

Weiter gibt Gleichung (13) das Verhältnis für die Mach-Zahl an. Für die Schallgeschwindigkeit in Wasser c_{H_2O} sind 1440 m/s angenommen.

$$Ma = \frac{v}{c} \quad (13)$$

$$Ma = \frac{1,66 \frac{m}{s}}{1440 \frac{m}{s}} = 0,001 \ll 0,8$$

5. Komponentenauswahl und Modellierung

Die Grundlagen und die Auslegung der Zielparameter münden in einem anwendungsgerechten Konstruktionsmodell, dessen Umsetzung in diesem Kapitel ausgewertet ist. Dafür sind, den bisherigen Errungenschaften entsprechend, die einzelnen Komponenten, zu verwendende Materialien und Fertigungsverfahren ausgewählt. Ferner sind resultierende Daten für das Trockengewicht und den Biomassenoutput dargelegt und es erfolgt eine Prüfung mit Rückschluss auf die Systemanforderungen.

5.1. Komponentenauswahl für die ASU

Flüssigkeitspumpen

Allen Komponenten voran, ist die Dimensionierung der Wasserpumpen ausschlaggebend für die Prozesszeiten und damit auch für die Dimensionierung der weiteren Komponenten. Wie bereits in der Auslegung des Leitungsverlaufs bestimmt, sorgt ein Volumenstrom von 5 l/min für einen adäquaten Betrieb der MEPA, wonach die Pumpen ausgewählt sind. Abb. 30 zeigt eine übereinstimmende Flüssigkeitspumpe. Die vollständigen Angaben sind aus dem dazugehörigen Datenblatt im Anhang zu entnehmen. Dies gilt für sämtliche Zukaufteile.



Abb. 30: Flüssigkeitspumpe NF 600 KPDCB; Quelle: knf.com

Mit der Förderleistungsangabe von $5,5 \text{ l/min}$ (330 l/h) ist das maximale Tankvolumen (2430 l) innerhalb $7,36 \text{ h}$ umgewälzt bzw. ist in diesem Zeitraum eine vollständige initiale

Befüllung abgeschlossen. Die SCM für Salate fasst maximal 700 l, welche hiermit nach 2,12 h eine Zirkulationsperiode durchlaufen haben.

UV-Leuchte

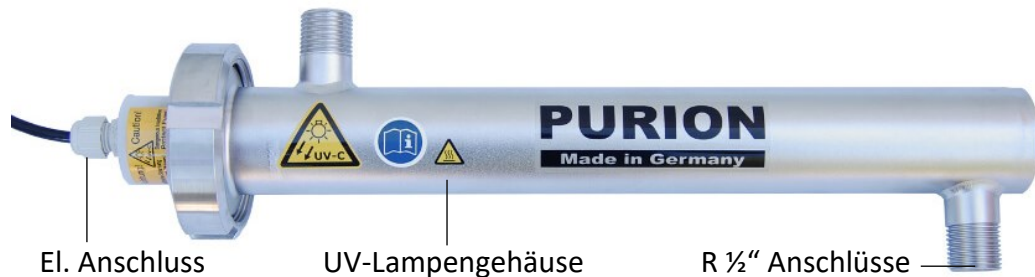


Abb. 31: UV-Leuchte Purion 500 zur FWT Entkeimung mit frei wählbarer Flussrichtung; Quelle: purion.de

Die in Abb. 31 gezeigte UV-Leuchte ist für eine Durchflussleistung bis 400 l/h geeignet und findet Anwendung in der Trinkwasseraufbereitung oder für Aquarien mit einer Größe von bis zu 4000 l und entspricht somit den Anforderungen der FWT-Entkeimung.

Ozongenerator

Herkömmliche Ozongeneratoren verfügen über eine eigenständige Luftansaugung, womit der eingehende Sauerstoff im Reaktor zu Ozon umgewandelt wird. Eine weitaus kompaktere und energieärmere Lösung bildet die in Abb. 32 vorgestellte Ozon-Mikrozelle, die sich das Elektrolyseverfahren zu eigen macht. Dies ermöglicht eine Integration in den Leitungsverlauf, wo ein direkter Kontakt mit der zu ozonisierenden Flüssigkeit besteht.

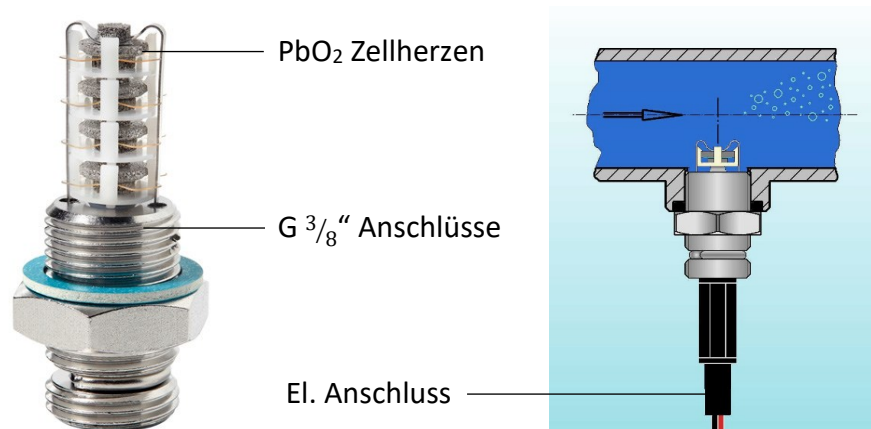


Abb. 32: Ozon-Mikrozelle INNOVATEC Gerätetechnik mit 4 Zellherzen (links) sowie dem Einbauprinzip in eine Rohrleitung (rechts); Quelle: innovatec-rheinbach.de

Die stark oxidierende Wirkung von Bleioxid wird in den Zellherzen unterbunden, da die Anode mit einer ionenleitenden Membran eine elektrisch und chemisch definierte Grenzfläche bildet.

Die in der Auslegung bestimmte O_3 -Erzeugung von 150 mg/h ist mit drei dieser Zellen mit je 60 mg/h erreicht und nach Belieben dimmbar. Die Ozonkonzentration in dem entstehenden Elektrolysegas beträgt maximal 10 % des Gewichtanteils.

Venturi-Düse

Die Venturi-Düse ist nach deren Anschlussgrößen ausgewählt, die dem übrigen Leitungsverlauf gleichen. Abb. 33 zeigt diese.



Abb. 33: Venturi-Rohr zur Teichbelüftung; Quelle: joom.com

Die Suche nach Angaben zu den inneren Durchmessern ist vergebens und Händleranfragen bleiben unbeantwortet, weshalb die groben Wertebereiche aus der Produktbeschreibung aufgeführt sind. Eine exakte Bestimmung des Luftvolumenstroms nach Kapitel 4.5.2. *Auslegung der Sauerstoffversorgung* kann somit erst nach manueller Ausmessung vorgenommen werden. Der angegebene Durchflussbereich sei $4,8 - 13,5\text{ l/min}$ bei $0,7 - 9,5\text{ bar}$, was zu einem Luftvolumenstrom von $0,05 - 0,62\text{ l/min}$ führe.

Luftfilter

Abb. 34 zeigt den ausgewählten Luftfilter. Er findet Anwendung in der Medizintechnik und bietet neben der herkömmlichen Filtration einen antibakteriellen Schutz.



Abb. 34: Luftfilter Iso-Gard aus Anwendung in Medizintechnik mit antibakteriellem Schutz; Quelle: c2med.de

Wasserfilter

Kunststofffiltergehäuse mit G ½" IG

Edelstahlfilterkerze 5", 500 μm



Kunststofffilterkerze 5", 50 μm



Abb. 35: Wasserfiltergehäuse Infiltec Typ Causa Clear CLD (links) mit Kunststofffilterkerze (mitte) und Edelstahlfilterkerze (rechts); Quelle: infiltec.de

Das in Abb. 35 gezeigte Filtergehäuse für flüssige Medien ist für 5 Zoll Standardfiltergrößen ausgelegt. Der Filtergrad ist durch eine breite Variation von zu verwendenden Filterkerzen gegeben, welche Maschengrößen von 0,3 – 1000 μm aufweisen. Das Gehäuse ist zudem mit oder ohne Entlüftungsventil zu erhalten und der maximale Durchfluss beträgt 19 l/min. Filterkerzen sind entweder aus Edelstahlgitter oder Kunststoffmembranen gefertigt. Als Orientierung für die Wahl der Maschengröße dient ein Beispiel eines hydroponischen Systems mit rezirkulierender Nährstofflösung, bei dem ein 64 μm Filter zum Einsatz kommt [13]. Für die MEPA sind zwei Feinfilter in je einem Wasserkreislauf und ein zusätzlicher Grobfilter für

die SCM vorgesehen. Der grobmaschige Vorfilter verhindert, dass abgelöste Pflanzenteile etc. den Feinfilter vorzeitig beeinträchtigen.

Füllstandsensoren

Zwei kapazitive Füllstandsensoren geben den Füllstand für die SCM und den FWT in je einem Steigrohr wieder. Über die Differenz der Sensorwerte sind die Füllstände beider Behälter determiniert.

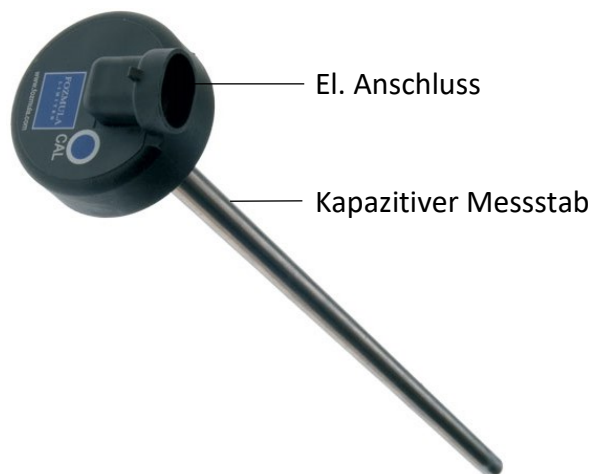


Abb. 36: Kapazitiver Füllstandssensor T/LL130; Quelle: contec-filtration.de

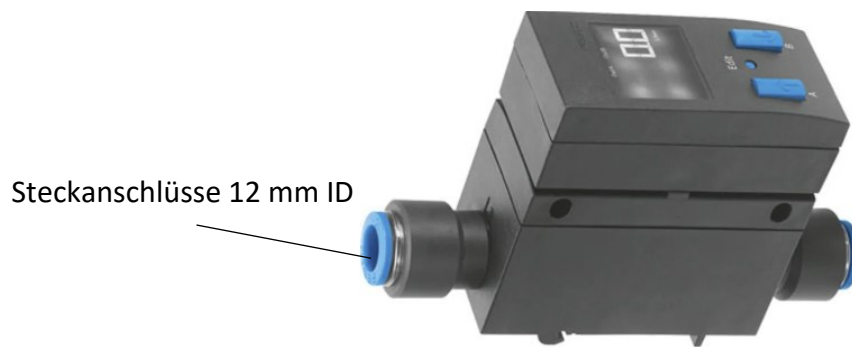
Der Sensorstab des in Abb. 36 dargestellten Modells ist mit einer Länge von 200 – 2000 mm erhältlich und kann nach Belieben gekürzt werden. Die Gesamthöhe der Flüssigkeitsbehälter muss mit der Sensorlänge abgedeckt sein und dennoch sollen die Steigrohre im Inneren der ASU Platz finden. Es stehen somit Stablängen von 320 – 360 mm zur Auswahl.

Damit keine Feststoffe in die Leitungen der Füllstandsensoren geraten, ist der Zugang seitens der SCM mit einem flexiblen Gitternetz versehen.

Durchflusssensoren

Die Ausgabe der Durchflusssensoren für je einen Kreislauf dienen als Indikator dafür, ob die Filterfunktion noch voll intakt ist, oder ob die Filterkerzen ausgetauscht werden müssen.

Abb. 37 zeigt ein mögliches Modell.



Steckanschlüsse 12 mm ID

Abb. 37: Durchflusssensor SFAW für flüssige Medien; Quelle: festo.com

Leitfähigkeitssensor

Abb. 38 zeigt eine Sonde für den EC-Wert mit Edelstahlelektrode.



Abb. 38: Leitfähigkeitssonde Typ 8221 2-Elektroden; Quelle: buerkert.de

pH-Sensor

In Abb. 39 folgt eine Ausführung für die pH-Wert Aufnahme. Die Fassung des Sensors bietet zusätzlich eine PG 13,5 Gewindebohrung für ein PT-1000 Temperaturelement.

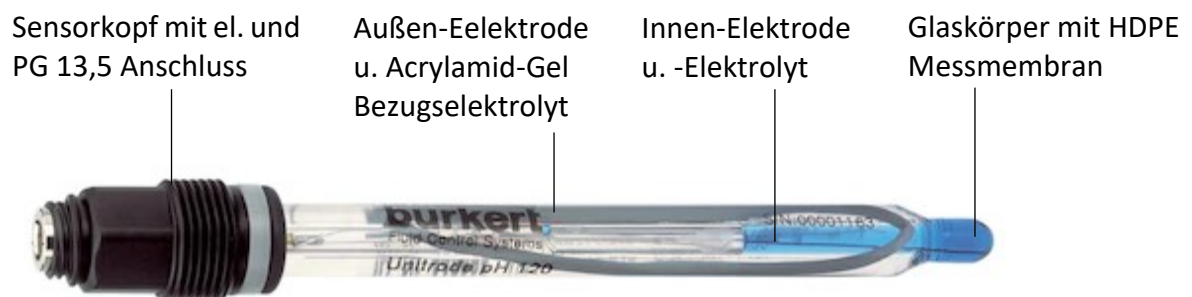


Abb. 39: pH-Sonde Typ 8203 FLATRODE pH 120 zur Einschraubung in 1" Sensorhalterung; Quelle: buerkert.de

Mikropumpen

Die Mikropumpe in *Abb. 40* ist als chemisch resistente Ausführung erhältlich und somit auch für Säure und Base geeignet. Insgesamt kommen vier Mikropumpen zum Einsatz, die jeweils einen Volumenstrom von 260 ml/min fördern.

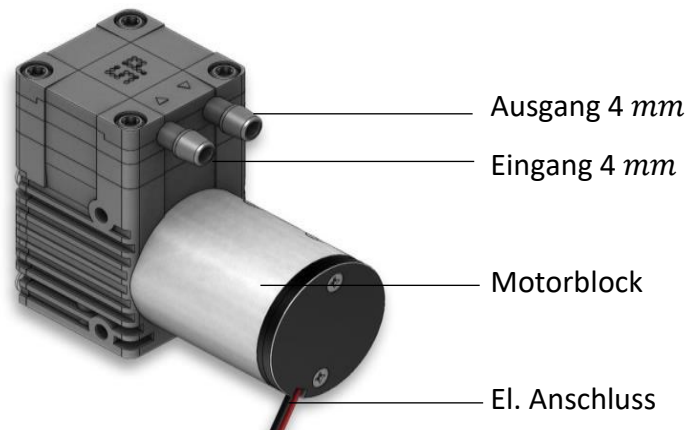


Abb. 40: Mikropumpe Flüssigkeitsdosierung SP 570 EC-L mit 4 mm Schlauchtüllen; Quelle: schwarzer.com

Rückschlagventil

Ein Rückschlagventil mit geringem $0,02\text{ bar}$ Öffnungsdruck zeigt *Abb. 41*.



Abb. 41: HCVU Rückschlag-Ventil mit metrischer Steckverbindung; Quelle: wassertechnik.pro

Magnetventil

Es besteht die Problematik bei 3/2-Wegeventilen, dass der Öffnungsdurchmesser meist sehr gering im Vergleich zu den Anschlussgrößen ausfällt. Für den gewünschten Durchlass ($\varnothing > 9\text{ mm}$) verweisen Hersteller auf Kugelhähne, die jedoch mit Stellmotoren versehen sind und damit auch ein weitaus höheres Gewicht vorweisen. Eine Alternative ist durch eine Parallelanordnung zweier 2/2-Wege Magnetventile möglich. Dennoch ist in *Abb. 42* ein

3/2-Wege Magnetventil aufgeführt, das eine Erfüllung der Anforderungen verspricht. Laut Herstellerangaben beträgt der interne Öffnungsdurchmesser 13 mm.



Abb. 42: 24V DC Magnetventil 3/2-Wege direkt gesteuert mit 13 mm Öffnungsdurchmesser; Quelle: jaksa.si

Solarzellen

Abb. 43 zeigt eine Tandem-Solarzelle mit bis zu 34 % Wirkungsgrad, welche in der Berechnung der Energieversorgung als Vorlage dient. Nach der Flächenberechnung aus Kapitel 4.5.4. Auslegung der Energieversorgung sind 304 dieser Zellen nötig, um die erwünschten 200 W Arbeitsleistung zu transferieren.



Abb. 43: Solarzelle Triple Junction GaInP/GaAs/Ge auf Ge-Substrat mit $\text{TiO}_x/\text{Al}_2\text{O}_3$ -Antireflexbeschichtung und 34 % Wirkungsgrad vom Typ TJ 3T34C; Quelle: azurspace.com

Batterie

Alle Verbraucher sind für eine Versorgungsspannung mit 24 V DC ausgelegt, wodurch von einem zusätzlichen Spannungswandler abgesehen werden kann. Der direkte Energietransfer zu Standzeiten ohne Sonneneinstrahlung soll durch einen Akkumulator bereitgestellt sein, dessen Leistung in *Kapitel 4.5.4. Auslegung der Energieversorgung* festgelegt ist. Eine entsprechende Größe ist in *Abb. 44* durch einen Lithium-Eisenphosphat-Akkumulator mit 1280 Wh gegeben und *Abb. 45* zeigt einen übereinstimmenden Laderegler.



Abb. 44: Batterie LiFePO₄ 24V 50Ah 1280Wh inkl. Bemaßung als Speicher der Solarenergie und Versorgung der el. Komponenten bei Nacht; Quelle: relionbattery.com

Laderegler

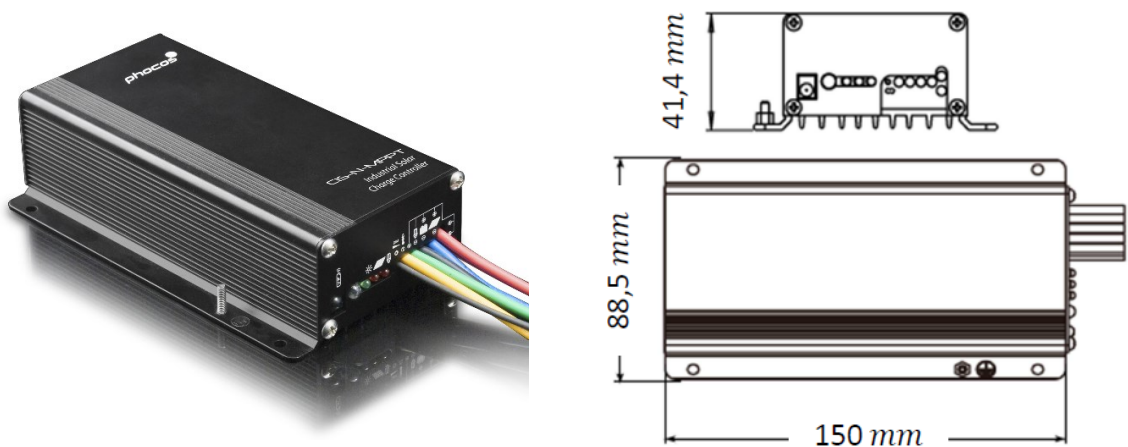


Abb. 45: Laderegler CIS-N-MPPT 85/15 mit max. 250W Photovoltaik-Leistung und automatischer Erkennung der Systemspannung inkl. Bemaßung; Quelle: phocos.com

Verbindungselemente sind in der Datenblattsammlung im Anhang aufgeführt. Im *Kapitel 5.5. Aufbau des Konstruktionsmodells* sind alle aufgeführten Komponenten, sowie Eigenanfertigungen und Leitungsbauteile in einer modellierten Komponentenordnung innerhalb der ASU einzusehen.

5.2. Materialauswahl

Die entsprechenden Datenblätter für die hier genannten Materialien sind im Anhang einzusehen. Es sei nicht auf jedes Material eingegangen, das in der umfassenderen Datenblattsammlung enthalten ist, oder als Allgemeinkenntnis betrachtet ist.

Foliendesign

Das für die entfaltbare Folienstruktur verwendete Material soll robust, lichtundurchlässig, lebensmittelkonform und nach Möglichkeit vor Erwärmung des Inhalts schützen. Der bereits in *Abb. 29* vorgestellte Folienverbund für *Bag-in-Box* Behälter (BiB) besitzt hohes Potential, jede dieser Anforderungen zu erfüllen. Der Verbund besteht aus Polyethylen PE, Aluminium Al und Ethylenvinylalkohol EVOH. Letzteres zählt zu den Copolymerharzen und ist durch hohe Gasbarriereigenschaften gekennzeichnet. Insgesamt sind den Eigenschaften des Verbunds eine hohe chemische Beständigkeit und Schlagzähigkeit zuzusprechen. Der Aluminiumanteil verhindert die Dehnbarkeit und lässt auch hohe Druckbeanspruchung zu, wobei die Flexibilität gewahrt bleibt. Bei gleichen Anteilen der Zusammensetzung weist der Verbund die Dichte 1623 kg/m^3 auf, was auf einer Annahme beruht. Die tatsächlichen Anteilsgrößen sind unbekannt und Herstelleranfragen bleiben unbeantwortet. Die Gesamtstärke des Verbunds ist einem BiB Exemplar für Wein entnommen und mit $0,1 \text{ mm}$ gemessen.

Wasserlösliche Folie

Folien aus Polyvinylalkohol PVOH sind kaltwasserlöslich, lassen sich verschweißen und sind zudem biologisch abbaubar. Eine Zersetzung in CO_2 und H_2O birgt keinerlei toxische Gefahren für Pflanzen. Eine $20 \mu\text{m}$ Schicht in stehendem Wasser (15°C) beginnt sich nach 28 Sekunden zu lösen und ist nach 300 Sekunden vollständig aufgelöst.

Schwimmerstruktur

Der Schwimmkörper soll eine geringe Dichte aufweisen, damit eine hohe Auftriebskraft erzielt werden kann. Es liegt nahe, Luftpolster aus dem genannten Folienmaterial aufzuschweißen. Um jedoch Oberflächen, deren Verletzung den Betrieb gravierend einschränken würde, minimal zu gestalten, fällt die Wahl auf Schwimmermaterial mit porigem Strukturaufbau. Geeignet ist Zellkautschuk, der eine Untergruppe schaumförmiger Elastomere beschreibt, die

eine Struktur aus geschlossenen Poren vorweisen. Zellkautschuk aus Ethylen-Propylen-Dien-Monomerkautschuk EPDM zeichnet sich durch hervorragende Beständigkeit gegen Alterung, Ozon, Licht und Witterung, sowie durch hohe Kompressibilität aus und ist, was Herstellung und Wiederverwendbarkeit betrifft, als ökologisches Material angesehen. Die Rohdichte beträgt durchschnittlich 145 kg/m^3 und für Schäume ist das geringste in Erfahrung gebrachte Raumgewicht mit 14 kg/m^3 angegeben. Durch die geschlossenporige Struktur, wird keine Außenhülle benötigt und die Schwimmfunktion ist selbst bei einer Verletzung unbeeinträchtigt.

Wurzelsubstrat

Bei der Auswahl eines Wurzelsubstrats kommt es auf eine hohe Keimfähigkeit an. Die Rate der fehlgeschlagenen Anwurzelung des Saatgutes in organischen und anorganischen Materialien ist in *Kapitel 4.2.1. Auslegung des Pflanzenadapters* anhand von Versuchsaufbauten behandelt, deren Ergebnisse für organische Wurzelsubstrate sprechen. Weiter zu berücksichtigen ist, dass das Substrat möglichst flach ist oder zumindest im Transportmodus in komprimierter Form vorliegt.

Sog. Torfquelltabs saugen Flüssigkeit an und stellen für das Saatgut eine Umgebung bereit, die alle Voraussetzungen für den Keimprozess erfüllt. Durch das Quellvermögen nimmt das Volumen um ein 7-faches zu und nimmt den Raum im Pflanzenadapter komplett ein. Gegen Materialablösung ist das Substrat mit einem feinmaschigen Netz umspannt, welches die Durchwurzelung jedoch ungehindert gestattet. *Abb. 46* zeigt eine Variante aus Torf. Alternativ werden auch Kokosquelltabs vertrieben und der Durchmesser beträgt je nach Anbieter 30 – 50 mm.



Abb. 46: Wurzelsubstrat als Torfquelltabs mit Netz umspannt zur Anzucht des Saatguts; Quelle: gbk-shop.de

Leitungsverlauf und Verbindungselemente

Für die flexiblen Elemente und deren Anbindung nach dem *Plug & Grow* Ansatz ist es vorteilhaft, einen ebenso flexiblen Leitungsverlauf zu wählen. Zwar besteht im Inneren der ASU die Möglichkeit, einen starren Rohrverlauf anzuwenden, jedoch bedeutet dies einen Anstieg der Komponentenzahl. Der gesamte Leitungsverlauf ist daher mit flexiblen Schläuchen versehen. Da keine nennenswerten Drücke entstehen, können unverstärkte und dünnwandige Schläuche verwendet werden. Die Auswahl fällt auf Schläuche aus Polyamid bzw. Polyurethan, deren Funktion im Leitungsverlauf durch unterschiedliche Farbkennungen zu unterscheiden sind. Die Verbindungselemente sind Steckverbindungen aus beständigem Polyoxymethylen, soweit verfügbar. Schottverbindungen und diverse Gewindeadapter enthalten Messing oder Edelstahl.

ASU Gehäuse

Die Vorgaben für das Gehäuse sind Leichtgewichtigkeit bei gleichzeitiger Robustheit, Witterungsbeständigkeit sowie eine schlichte Fertigung. Als geeignetes Material ist Polypropylen PP mit einer Dichte von 946 kg/m^3 vorgesehen. Die Eigenschaften des thermoplastischen Kunststoffs sind vergleichbar mit Polyethylen PE, PP weist jedoch eine höhere Wärmebeständigkeit und Härte auf.

Entsprechende Kunststoffplatten mit 5 mm Stärke sind auf einem Aluminiumrahmen aus 20x20 mm Item Profilen angebracht.

5.3. Fertigungsverfahren

Das Folienverbundmaterial, sowie die wasserlösliche Folie lassen sich mit gängigen Thermoschweißverfahren bearbeiten. Da es sich um die Fertigung eines EMs handelt, sind manuelle Verfahren vorgezogen. Bei dem Fügen der Verbundfolie via Schweißverfahren sind die Schmelztemperaturen von PE mit $130 - 145 \text{ }^\circ\text{C}$ ausschlaggebend, da es das Al und das EVOH umschließt und die äußere Schicht bildet.

Typische Folienschweißgeräte sind in der Geometrie meist auf lineare Schweißnähte beschränkt und die Vorrichtungen erlauben nur Werkstückmaße, welche von den Dimensionen des Werkzeugs abhängen. Handgeräte, die ein Freiformschweißen ermöglichen,

basieren auf dem Verfahren des Warmgasziehschweißens. Hierbei kommt ein Heißluftgebläse mit Düsenaufsatz zum Einsatz, dessen Auslass sich zu einem geringen Durchmesser zuspitzen und somit bei Auflagekontakt dünne Nähte erzeugt werden können. Es besteht allerdings eine Abhängigkeit zu der Verweildauer und dem aufgetragenen Druck, mit dem die Naht gezogen wird. Da die Fertigung der Nähte nach absoluter Undurchlässigkeit und Gleichmäßigkeit verlangt, sei von einer Freihandnutzung abgeraten. Ein weiteres manuelles, aber gleichmäßigeres Verfahren zur Kunststoffverarbeitung bildet das Hochfrequenzschweißen. Hierbei werden überlappende Materialien durch ein elektromagnetisches Feld angeregt, die sich infolge dessen erwärmen und unter Pressdruck zusammengefügt werden. Das Werkzeug bzw. die Elektrode, die mit dem Werkstück in Kontakt kommt, liegt als Laufrad vor, das kontinuierlich die zu verschweißende Kontur abfährt. Die Verweildauer, der Druck und die Temperatur sind steuerbar und die Kontur ist frei wählbar. Abb. 47 zeigt das Ultraschall-Schweißgerät.



Abb. 47: Ultraschall-Schweißgerät für die Anwendung des Hochfrequenzschweißens an Kunststofffolien; Quelle: jentschmann.ch

Es sind verschiedene Aufsätze erhältlich, mit denen unterschiedliche Profile für die Schweißnaht erzielt werden können. Für eine durchgängige Naht sind zwei Profile in Abb. 48 und Abb. 49 aufgeführt, die eine 3,5 mm bzw. 10 mm breite Naht erzeugen.



Abb. 48: Laufrad-Aufsatz für durchgängige 3,5 mm Schweißnaht; Quelle: jentschmann.ch

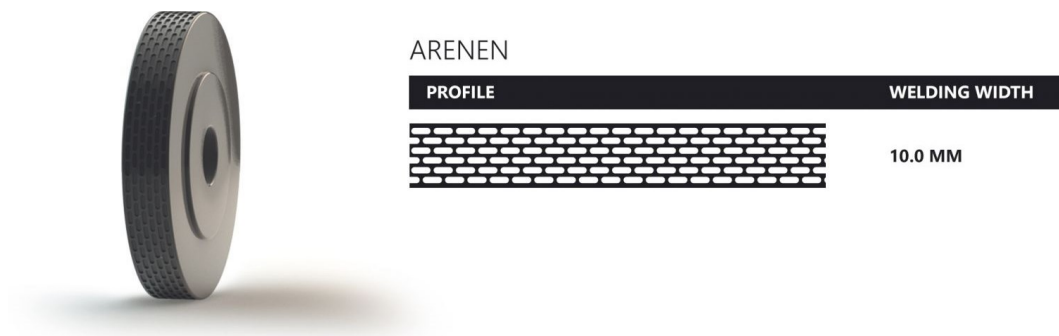


Abb. 49: Laufrad-Aufsatz für durchgängige 10 mm Schweißnaht; Quelle: jentschmann.ch

Die Schnittstellen zwischen den Leitungen und den Folienbehältern in Form von Kunststoff-Gewindeflanschen erfordern einen kreisrunden Ausschnitt aus dem Folienverbund und geschlossene Schweißnähte mit geringem Radius. Mit der Vorrichtung in Abb. 50 sind diese beiden Arbeitsschritte in Einem kombiniert. Sie fungiert als Lochstanze sowie als Schweißgerät, ebenso auf dem Prinzip des Hochfrequenzschweißens basierend.

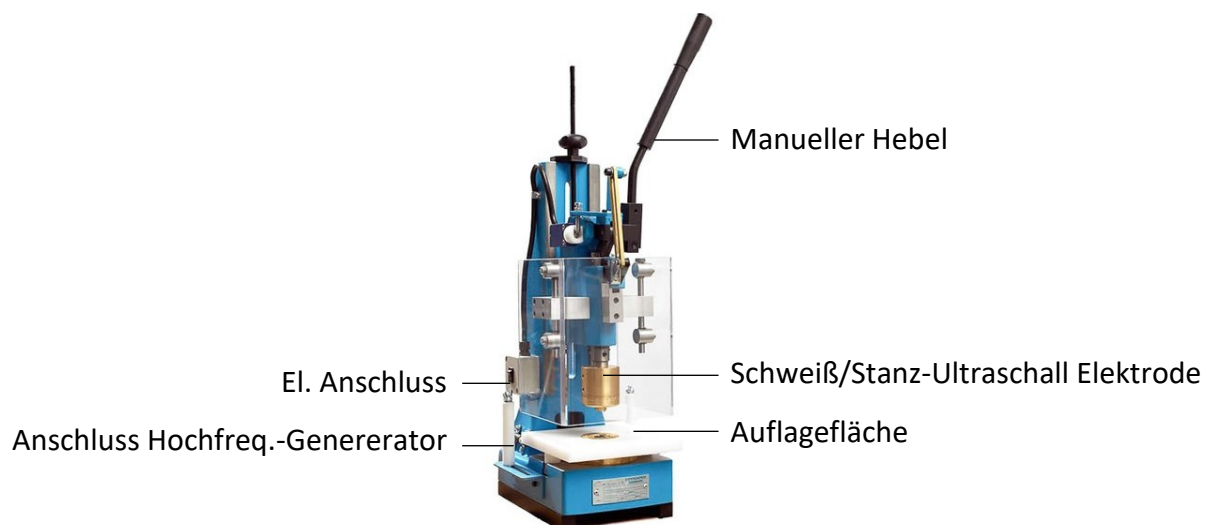


Abb. 50: Stanz- und Schweißpresse "EP3 Manuelle Öseneinsetzmaschine"; Quelle: carmo.dk

Die formgebenden Elektroden sind nach den erwünschten Durchmessern und nach der Möglichkeit zum Schweißen von Gewindeflanschen auszuwählen. Geeignet sind daher nur Elektroden mit zentriertem Hohlraum, der bei dem Pressvorgang das Gewinde umgibt und nicht beschädigt. Zu beachten ist, dass die Maschine mit einem Hochfrequenzgeber über ein Koaxialkabel verbunden werden muss.

Selbiges Gerät kann auch für das Verschweißen der wasserlöslichen Folie verwendet werden. Die Schmelztemperatur von PVOH ähnelt der von PE und ist bei der exemplarischen 20 μm Folie mit 150 °C angegeben. Eine passende Elektrode muss allerdings im Inneren genügend Platz für das Wurzelsubstrat bieten. Da das Werkzeug bzw. die Elektrode aus Messing sich nicht selbst erwärmt, wird davon ausgegangen, dass das Saatgut bei diesem Vorgang keine Beeinträchtigung erfährt.

5.4. Transport, Gewicht und Biomassenoutput

Die primäre Anwendung der MEPA bezieht sich auf die Versorgung von Krisengebieten. Der Transport per 40 Fuß ISO-Container fasst 75 Einheiten, die vor Ort zu einer Anbaufläche von 525 m^2 aufgestellt werden können. Die Abb. 51 zeigt das Packvolumen für diesen Container und Abb. 52 ein Szenebild mit aufgebauten MEPA-Einheiten.

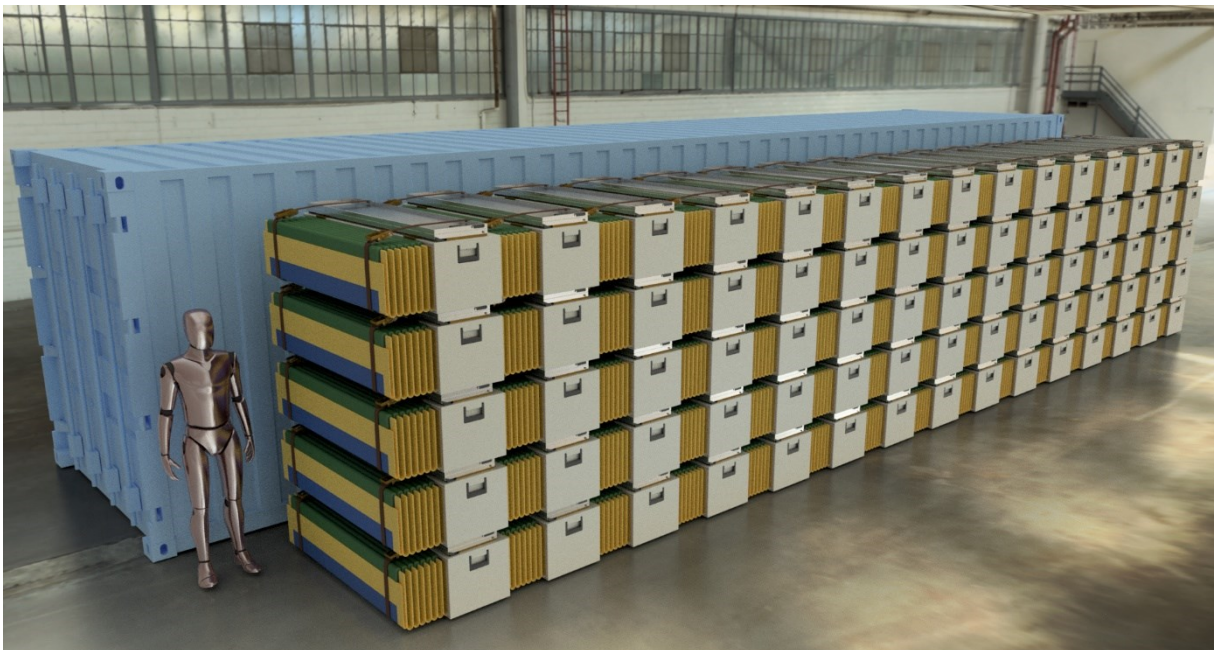


Abb. 51: Packvolumen aus 75 MEPA-Einheiten für den Transport in einem 40' Container; Quelle: Eigenanfertigung

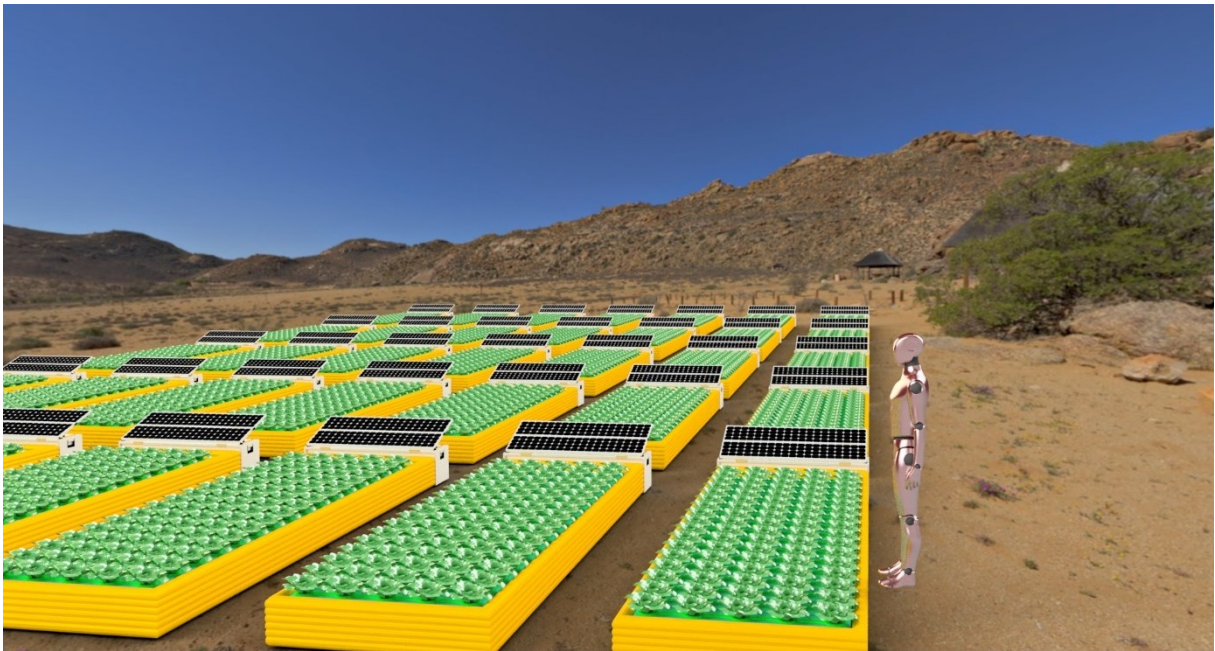


Abb. 52: Szenenbeispiel für Anbaufläche aufgestellter MEPA Einheiten auf unfruchtbarem Boden; Quelle Eigenanfertigung

Mit einer einzigen Lieferung können somit 6375 Salatköpfe bzw. 3187,5 *kg* Salat (0,5 *kg*/Salat) in 34 Tagen produziert werden.

Für die Transportierbarkeit, ob einzeln oder im Container, ist das Trockengewicht einer MEPA aussagekräftig. Hierfür ist die Stückliste einer Einheit in *Tabelle 17* herangezogen, in der zusätzlich das Gewicht jedes Einzelteils bestimmt ist. Die Summe ergibt das gesamte Trockengewicht.

Tabelle 17: Vollständige Stückliste und Gewichtsangaben des Gesamtsystems, gegliedert in Subsysteme über die Objektnummerierung und unterkategorisiert durch Farbabstufungen, geklammerte Werte ergeben sich aus der Summe der eingeschlossenen Baugruppe(n); Quelle: Eigenanfertigung

Objekt	Anzahl	Beschreibung	Gewicht [kg]
1	1	FWT	2,83
2	1	IGS	1,89
3	1	SCM	(4,78)
3.1	1	SCM Wanne	1,41
3.2	1	SCM Trägerfolie	1,06
3.3	1	Schwimmerstruktur	1,86
3.4	85	Pflanzenadapter	(0,44)

Objekt	Anzahl	Beschreibung	Gewicht [kg]
3.4.1	85	Anzuchtsubstrat	0,34
3.4.2	85	Fixierfolie	0,05
3.4.3	85	Samen	ca. 1g/1000Stk
3.4.4	85	Folie wasserlöslich	0,05
3.5	1	Netzfilter Ausgang PE	0,01
4	1	ASU Zusammenbau	(73,47)
4.1	2	Wasserpumpe NF600	3,00
4.2	1	UV Entkeimung Purion 500	2,20
4.2.1	2	UV Entkeimung Purion Montageset	0,02
4.3	1	Venturi-Düse	0,02
4.3.1	2	Schraubrohrschele 21-23 mm	0,02
4.4	1	Luftfilter	0,02
4.5	2	Füllstandsmesser	0,60
4.5.1	4	PVC Rohrschele 40 mm	0,04
4.6	1	Magnetventil 24V DC 3/2-Wege 3/8"	0,79
4.7	4	Tank Nährstoffe, Säure, Base	1,10
4.7.1	1	Profil_Behälter_individuell_1	0,02
4.7.2	1	Profil_Behälter_individuell_2	0,02
4.7.3	1	Profil_Behälter_individuell_3	0,02
4.7.4	1	Profil_Behälter_individuell_4	0,02
4.7.5	4	Tank Halterung	0,32
4.8	3	Wasserfilter	1,80
4.8.1	3	Filterkerzen	1,80
4.8.2	3	Halterung Wasserfilter	0,03
4.9	2	Sensoraufnahme	0,32
4.9.1	1	pH-Sensor	0,01
4.9.2	1	EC-Sensor	0,02
4.9.3	1	Thermoelement	0,01
4.9.4	2	Sensorik Halterung	0,02
4.9.5	2	Durchflusssensor	0,32

Objekt	Anzahl	Beschreibung	Gewicht [kg]
4.10	1	Rückschlagventil 12 <i>mm</i>	0,07
4.11	3	Ozon Mikrozelle	0,14
4.11.1	1	Fassung Ozonzellen	0,03
4.11.2	1	Halterung Ozonzellen	0,01
4.12	1	Li-Fe-Akkumulator 24V 50Ah	13,20
4.12.1	1	Laderegler	0,78
4.13	1	ASU Gehäuse	(19,66)
4.13.1	4	Profil Item 20x20 L=350 <i>mm</i>	0,67
4.13.2	4	Profil Item 20x20 L=400 <i>mm</i>	0,77
4.13.3	4	Profil Item 20x20 L=1600 <i>mm</i>	3,07
4.13.4	1	Platte Boden	3,25
4.13.5	1	Bodenabsenkung Füllstandsmesser	0,19
4.13.6	1	Platte Deckel	3,32
4.13.7	1	Platte Front	1,88
4.13.8	2	Platte Seiten	1,92
4.13.9	1	Platte Rückseite	2,75
4.13.10	1	Nasszelle	1,66
4.13.11	1	Flachdichtung	0,01
4.13.12	2	Tragegriff	0,17
4.14	2	Solarpanel	(25,71)
4.14.1	2	Solarpanel Rahmen	13,52
4.14.2	304	Solarzelle triple junction	0,79
4.14.3	2	Solarpanel Glas	10,20
4.14.4	2	Anschluss Panel	0,18
4.14.5	2	Führung Solarpanel	0,02
4.14.6	2	Stützgelenk	0,06
4.14.7	2	Stütze Pleuel	0,37
4.14.8	2	Lochschiene	0,37
4.14.9	2	Stopper M8	0,01
4.14.10	4	Abstandshülse	<< 0,01

Objekt	Anzahl	Beschreibung	Gewicht [kg]
4.14.11	2	Kippsperre	0,01
4.15	1	DHCS inkl. Router Tosibox_Lock_100	0,59
4.16	4	Mikropumpe_570 EC-L	0,32
4.17	2	Kugelhahn 3/2-Wege manuell	0,36
4.17.1	4	Halterung Kugelhahn	0,06
5	1	Anschlüsse	(2,61)
5.1	16	Fitting 177682 CQ-3/8-12	0,13
5.2	1	Fitting 177687 CQT-12	0,03
5.3	3	Fitting 177683 CQ-1/2-12	0,04
5.4	4	Fitting 177705 CQ-3/8-12H	0,03
5.5	1	Fitting 177705 CQ-1/2-12H	0,01
5.6	16	Fitting 190653 QSF-1/2-12-B	0,90
5.7	4	Fitting 8085665 NPQR-DK-G14-Q8	0,06
5.8	2	Fitting 8069237 NPFC-R-G1-G12-MF	0,27
5.9	4	T-Stück 130615 QST-12-8	0,13
5.10	2	T-Stück PVC-U 1"	0,13
5.11	1	Stutzen DIN EN 10242 hexagonal N8	0,01
5.12	11	Schottverschraubung 153161 QSS-12	0,57
5.13	6	Schweißanschluss G1/2"	0,03
6	1	Leitungen	(0,47)
6.1	1	Schlauch AD 12 mm, ID 9 mm, L 8107 mm	0,42
6.2	1	Schlauch AD 8 mm, ID 6 mm, L 463 mm	0,01
6.3	1	Schlauch AD 8 mm, ID 4 mm, L 706 mm	0,04
7	1	Verbindungselemente	(2,80)
7.1	18	Linsenschraube Innensechskant M3 x 12	0,30
7.2	25	Linsenschraube Innensechskant M4 x 12	
7.3	16	Linsenschraube Innensechskant M5 x 12	
7.4	8	Linsenschraube Innensechskant M8 x 35	
7.5	7	Linsenschraube Innensechskant M8 x 16	
7.6	4	Zylinderschraube Innensechskant M3 x 10	0,25

Objekt	Anzahl	Beschreibung	Gewicht [kg]
7.7	5	Zylinderschraube Innensechskant M3 x 12	
7.8	4	Zylinderschraube Innensechskant M3 x 16	
7.9	18	Zylinderschraube Innensechskant M4 x 12	
7.10	12	Zylinderschraube Innensechskant M4 x 30	
7.11	12	Zylinderschraube Innensechskant M5 x 14	
7.12	8	Zylinderschraube Innensechskant M8 x 16	
7.13	8	Senkschraube Innensechskant M5x16	0,024
7.14	22	Hutmutter DIN 1587 - M4	0,18
7.15	21	Hutmutter DIN 1587 - M5	
7.16	7	Hutmutter DIN 1587 - M8	
7.17	2	Spanngurt	1,00
7.18	4	Scharnier	0,83
Nettogewicht Σ			88,19
Marge			(11,81 %) 11,81
Gesamtrockengewicht Σ			100,00

Das Gesamtgewicht der MEPA mit 88 *kg* befindet sich in dem geforderten Bereich, damit die Einheit händisch von zwei Personen transportierbar ist. Die Anforderung bleibt selbst dann gewahrt, falls zusätzliche Massen durch Ersatzteile oder eventuelle Anpassungen auftreten. Eine Gewichtsmarge von 12 % deckt diese Eventualitäten ab. Gleichermaßen ist das Potenzial für ein geringeres Gewicht nicht vollständig ausgeschöpft.

5.5. Aufbau des Konstruktionsmodells

Die Ausarbeitung und die Ergebnisse der vorliegenden Systemanalyse münden in einem CAD-Modell, das als Grundlage für den Aufbau eines Prototyps bzw. eines EMs genutzt werden soll. *Abb. 53* zeigt das fertige Modell und im weiteren Verlauf sind Detailaufnahmen der Modellierung dargestellt. Die Konstruktionsdateien mit allen enthaltenen Komponenten und Maßen sind im Anhang in Form eines elektronischen Datenträgers beigelegt.

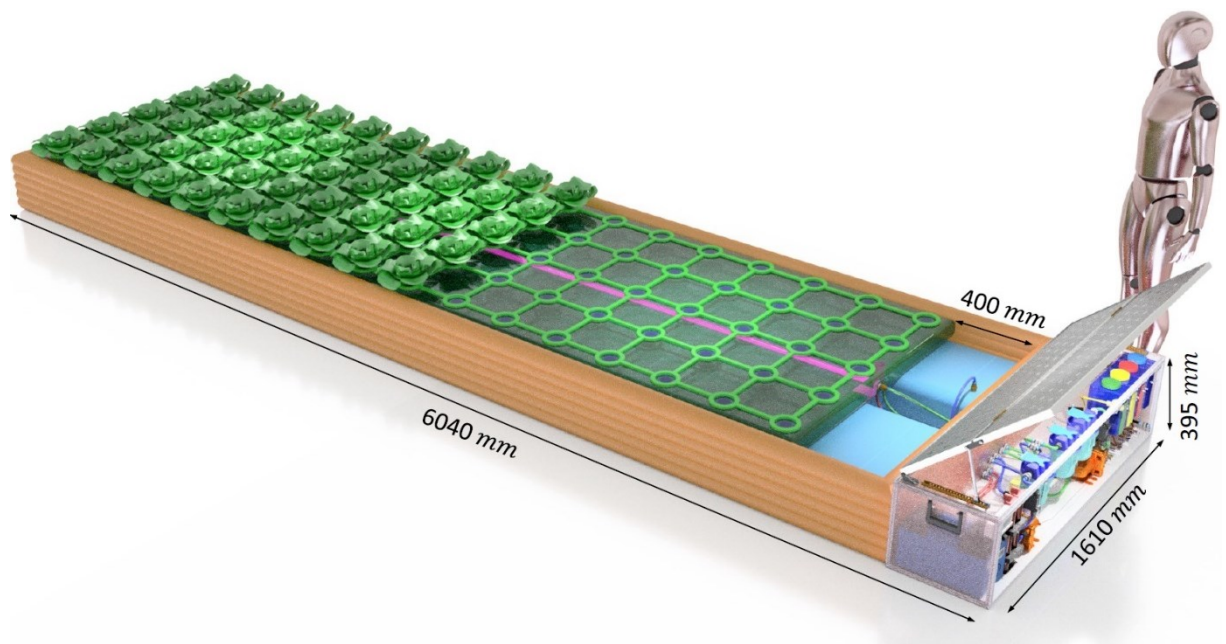


Abb. 53: Gesamtaufbau im CAD-Modell der MEPA mit transparenter ASU, halb bestückter SCM und u.a. hervorgehobenem Eingangskanal inkl. Bemaßung; Quelle: Eigenanfertigung

Der 400 mm Versatz zwischen SCM und FWT stellt sicher, dass die morphologische Ausbreitung der Pflanzen keine Abschattung der Solarzellen verursacht. Abb. 54 zeigt den Abschnitt im Detail und gibt Aufschluss über die Leitungsverbindungen zwischen den Folienbehältern und der ASU.

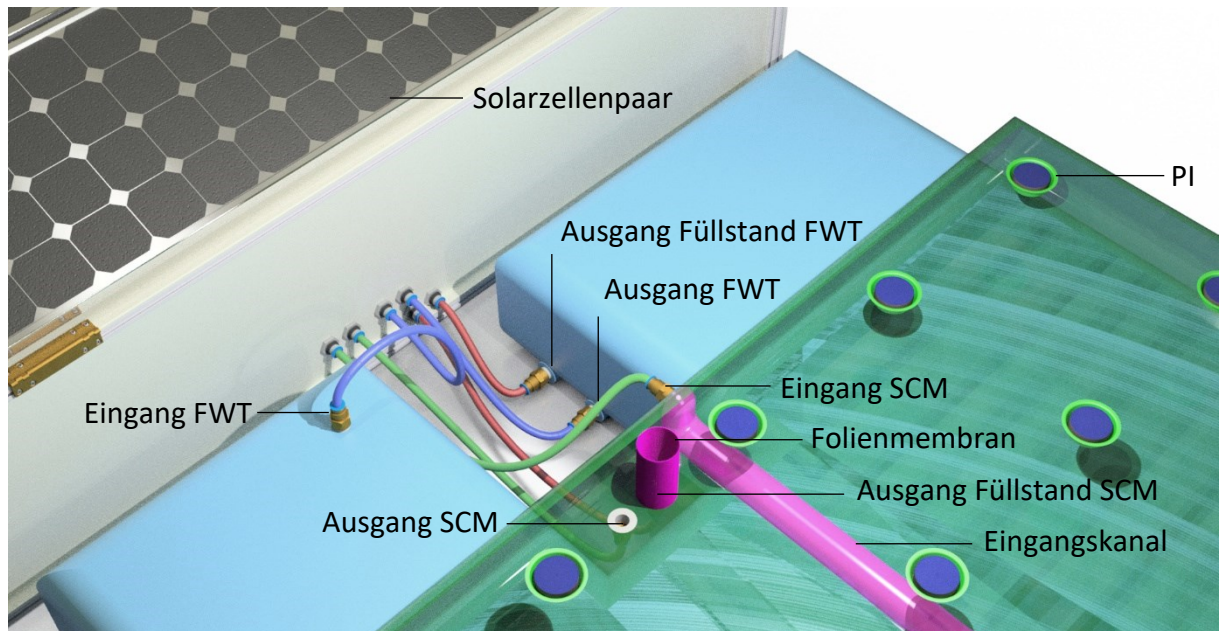


Abb. 54: Leitungsverlauf (SCM grün, FWT blau, Füllstandsensoren rot) zw. SCM, FWT und offengelegter ASU mit eingeschweißtem Eingangskanal zur Förderung von gelöstem Sauerstoff in Wasser durch verzögerten Luftaufenthalt, und Folienmembran zum Schutz der Füllstandsensoren vor Feststoffen; Quelle: Eigenanfertigung

Folgende Abb. 55 zeigt die Rückseite der ASU mit aufgestellten Solarpanelen. Die Nasszelle ist von dem Innenleben der ASU ausgeschlossen und mit einer Dichtung zum Gehäuse versehen, damit die el. Komponenten bei einem Filterwechsel trocken bleiben.

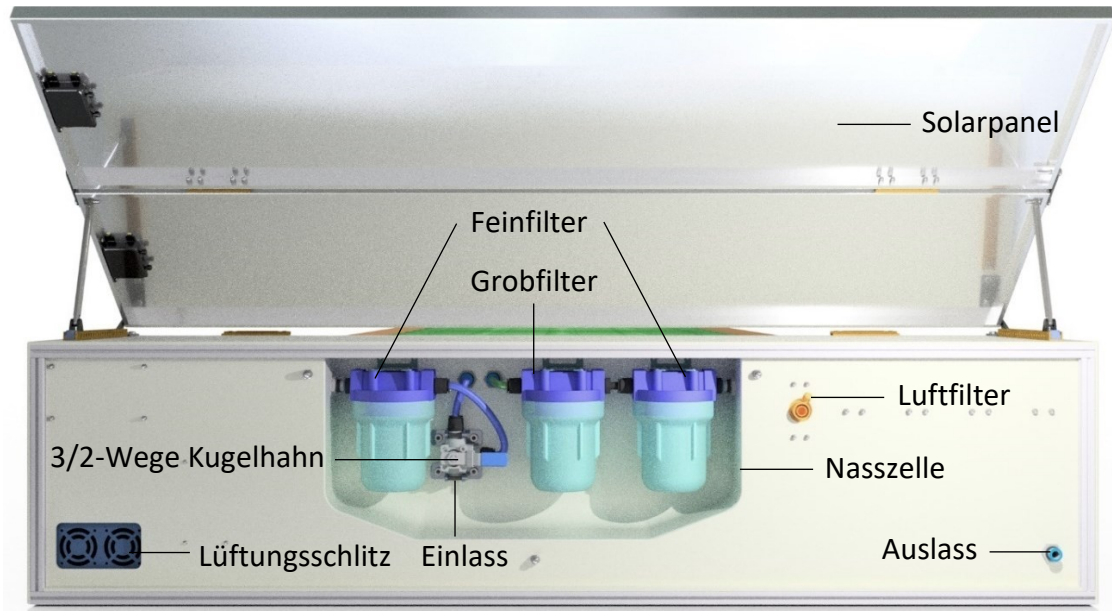


Abb. 55: ASU Rückseite mit ausgefahrenen Solarmodulen, eingelassener Nasszelle und Anschlüssen für den Einlass und Auslass; Quelle: Eigenanfertigung

Die Abb. 56 zeigt die Komponentenanordnung innerhalb der ASU und die darauffolgenden Detailaufnahmen in Abb. 57 und Abb. 58 erläutern nähere Funktionen.

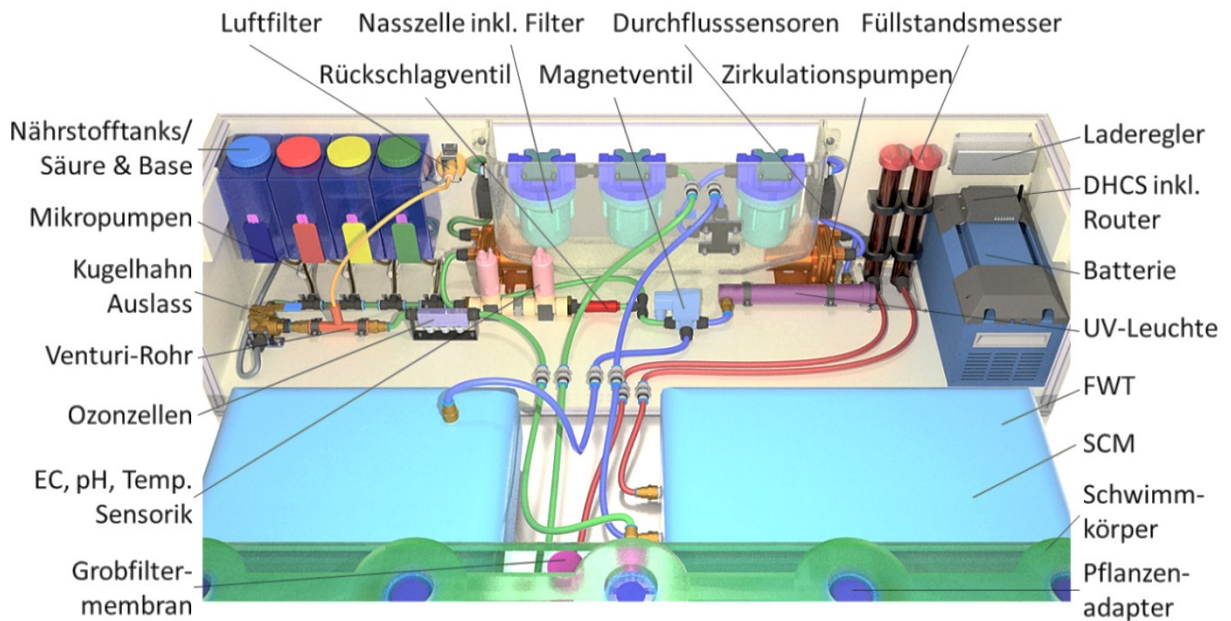


Abb. 56: Komponentenanordnung innerhalb der ASU; Quelle: Eigenanfertigung

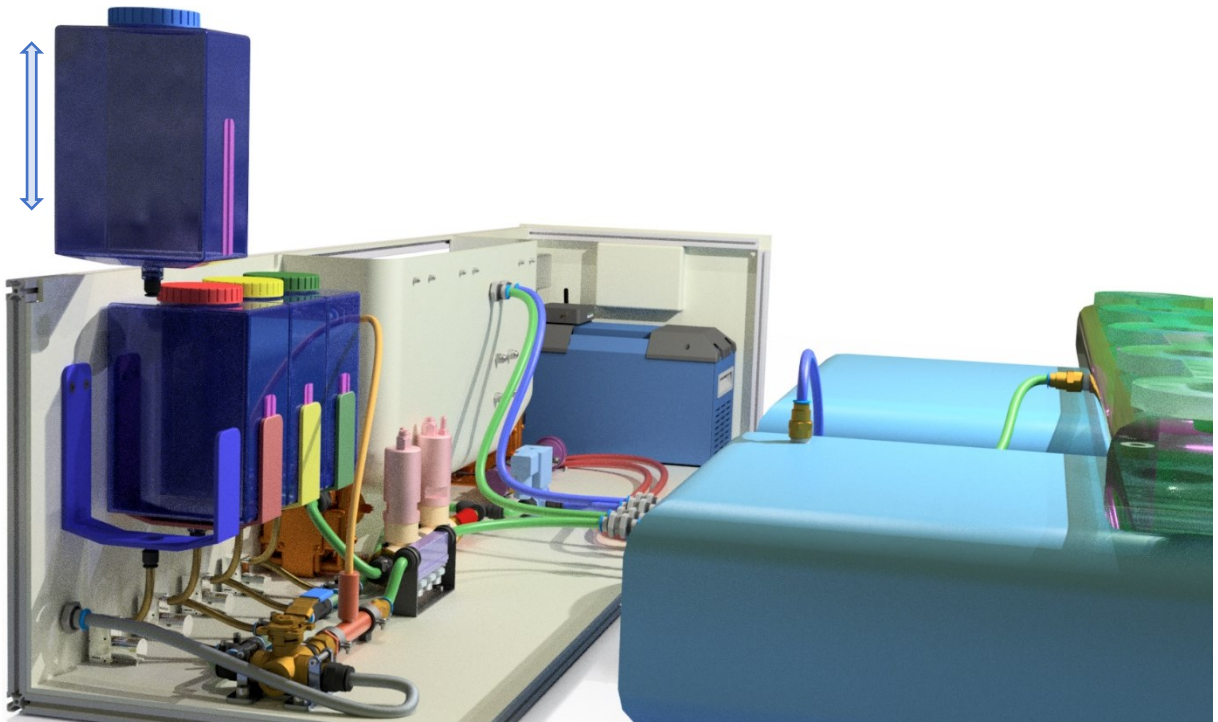


Abb. 57: Seitliche Ansicht der ASU-Komponenten mit Fokus auf den herausnehmbaren Nährstoff- bzw. Säure/Base-Tanks, die mit individuellen Profilen und Farbkodierung versehen sind, um Verwechslungen möglichst auszuschließen; Quelle: Eigenanfertigung

Der Farbcode für den Leitungsverlauf (SCM grün, FWT blau, Füllstandsensoren rot) ist mit gelb für Luft, golden für Nährstoffe und pH-Ausgleich sowie mit grau für die Auslassleitung erweitert.

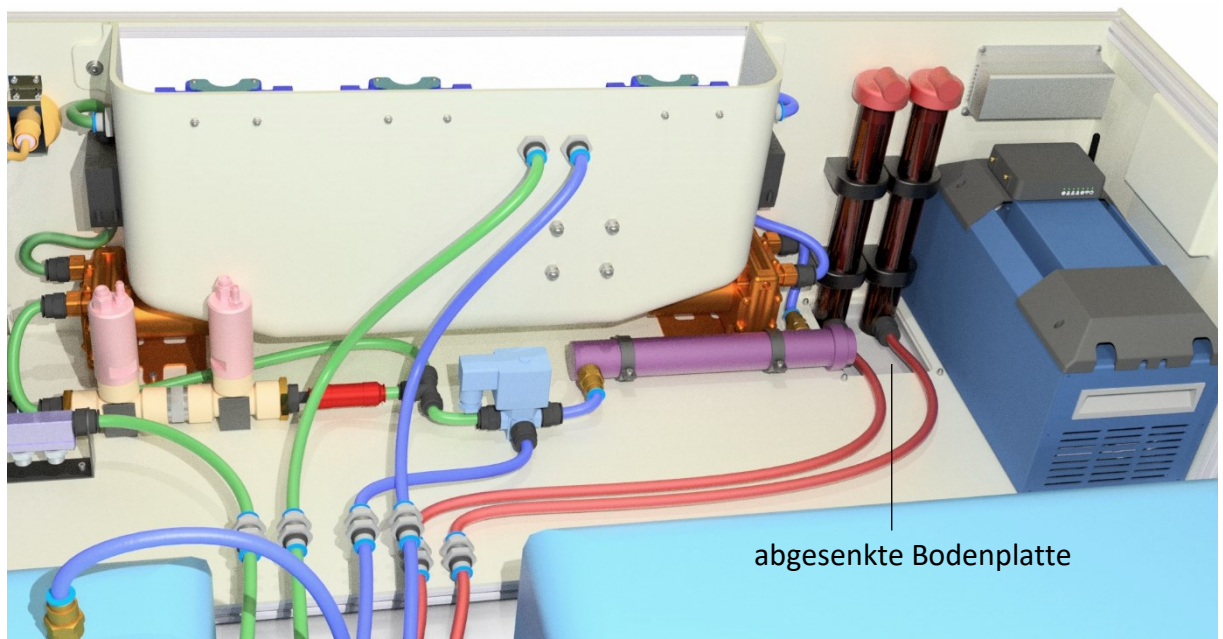


Abb. 58: Innenansicht der ASU mit abgesenkter Bodenplatte unter den Füllstandsensoren für möglichst tiefe Sensorposition; Quelle: Eigenanfertigung

Nachfolgend ist die MEPA im Transportmodus in Abb. 59 abgebildet und mit den Maßen des Packvolumens versehen.

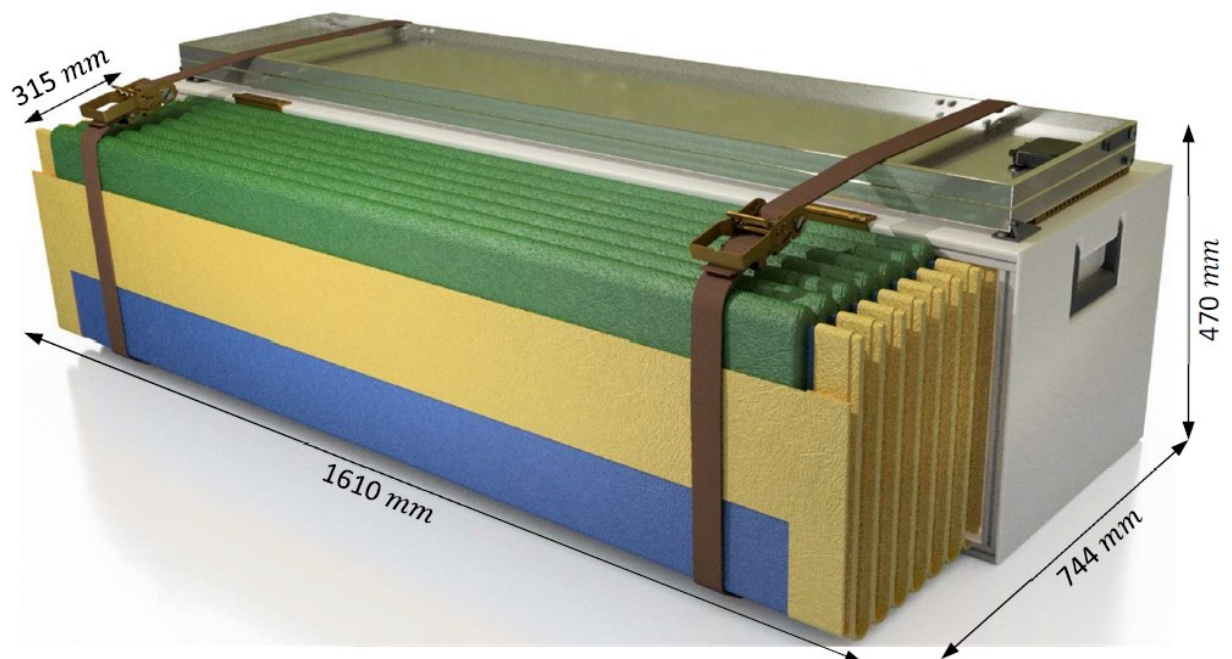


Abb. 59: MEPA im Transportmodus inkl. Bemaßung mit eingefalteten Folienkomponenten (inkl. PI, Saatgut) sowie Solarpanelen und mit Spanngurten umspannt. Mit den seitlich eingelassenen Tragegriffen soll die Einheit von zwei Personen händisch getragen werden können; Quelle: Eigenanfertigung

Die folgende Bilderreihe in Abb. 60 – Abb. 65 zeigt die Konstruktion im schrittweisen Aufbau an der Produktionsstelle. Einzelne Arbeitsschritte sind innerhalb der Abbildungen aufgelistet.

- Ankunft der MEPA im Transportmodus
- Packvolumen mit eingefalteten Folienkomponenten und Solarpanelen
- Von 2 Personen händisch transportierbar

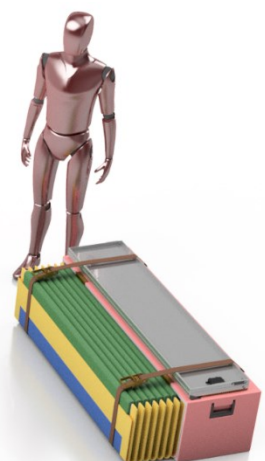


Abb. 60: MEPA im Transportmodus; Quelle: Eigenanfertigung

- Folienstruktur ausgebreitet
- Reihenfolge: SCM
FWT
IGS

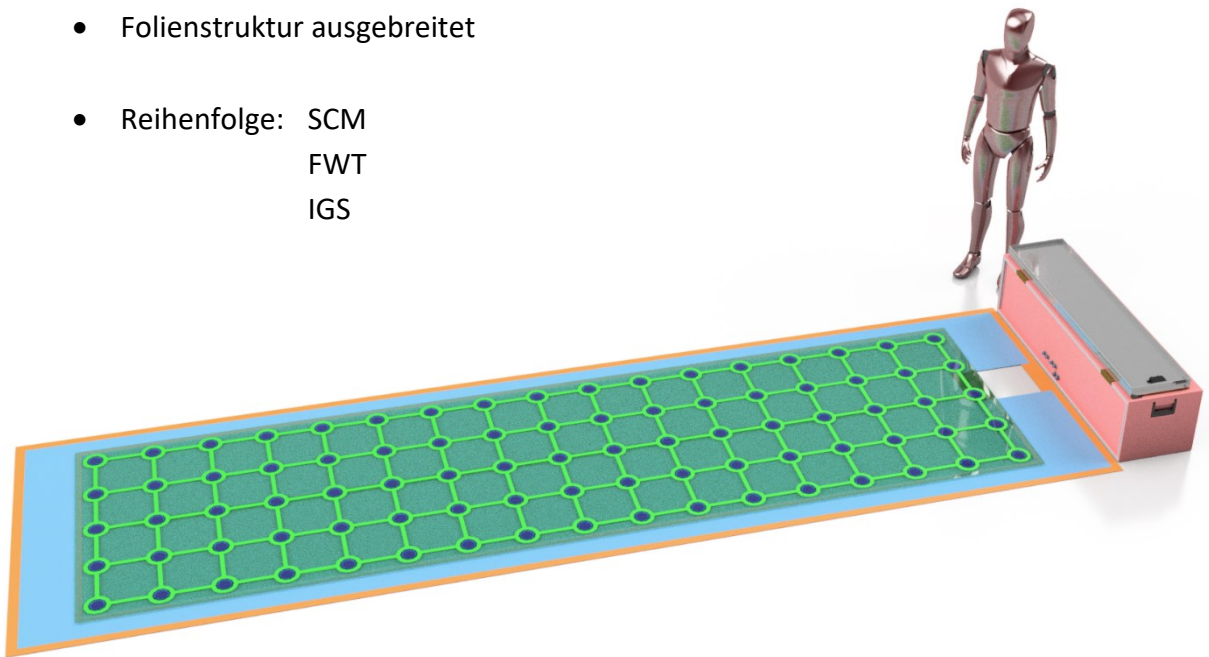


Abb. 61: MEPA mit entfaltenen Folienkomponenten; Quelle: Eigenanfertigung

- IGS aufgepumpt
(man./el. Pumpe mitgeliefert)
- Solarmodul aufgestellt, über Lochschiene justierbar
- Evtl. Nährstoffe vorbereitet

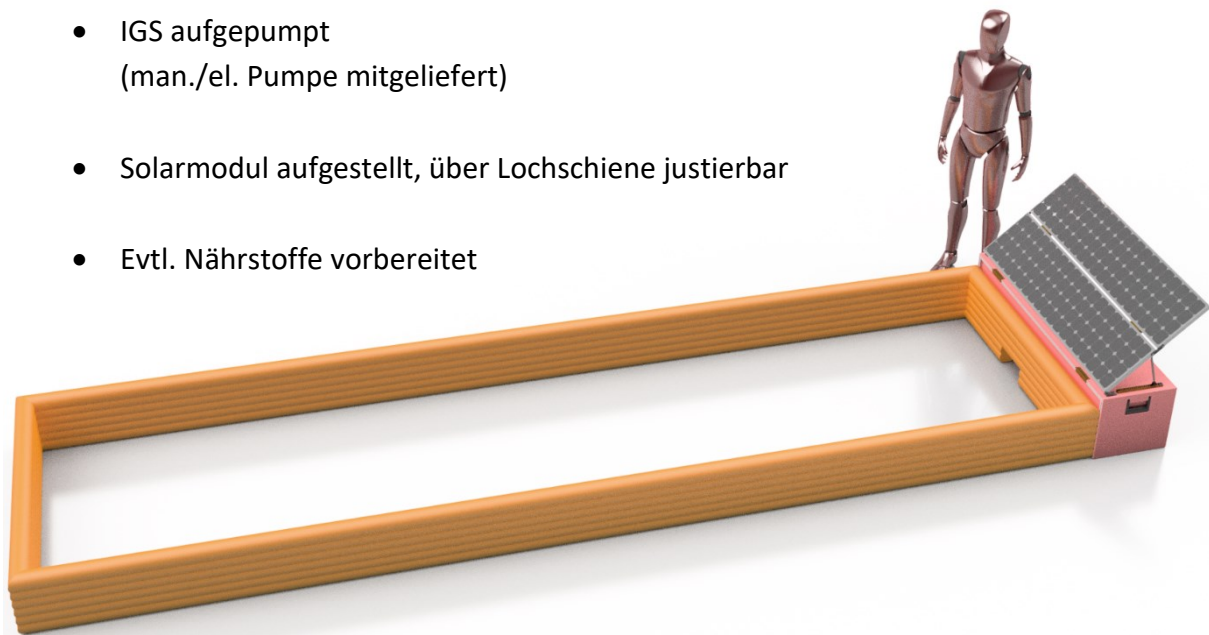


Abb. 62: MEPA mit Luft befüllter IGS und ausgefahrenen Solarmodulen; Quelle: Eigenanfertigung

- Leitungen für Frischwasser (blau) und Füllstandsensor (rot) über Stecksystem zwischen FWT und ASU verbunden
- Pumpe zieht Frischwasser aus Reservoir vor Ort
- Erste Filterung und UV-Entkeimung vor Eintritt in FWT
- Entlüftung über Filtergehäuse/Überdruckventil an FWT

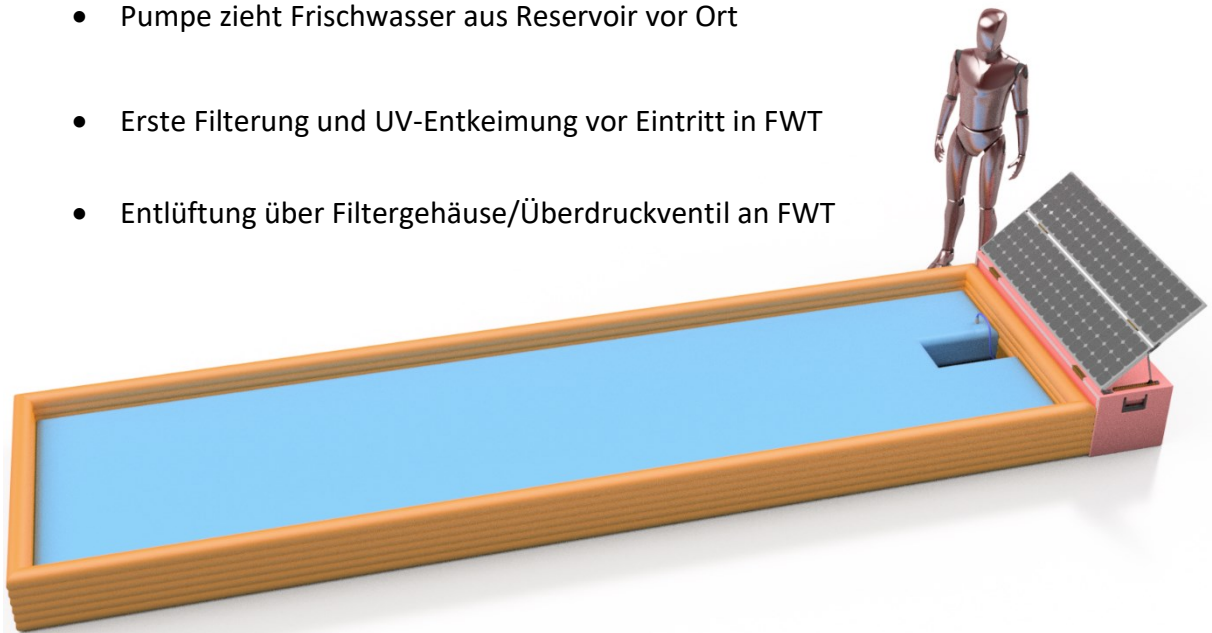


Abb. 63: MEPA mit befülltem FWT; Quelle: Eigenanfertigung

- Befüllter FWT bietet ebene Auflagefläche für SCM
- Leitungen für SCM und Füllstandsensor über Stecksystem zu ASU verbunden
- SCM über Kopplung der Pumpenkreisläufe befüllt
→ Beginn Keimprozess und Zersetzung wasserl. Folien

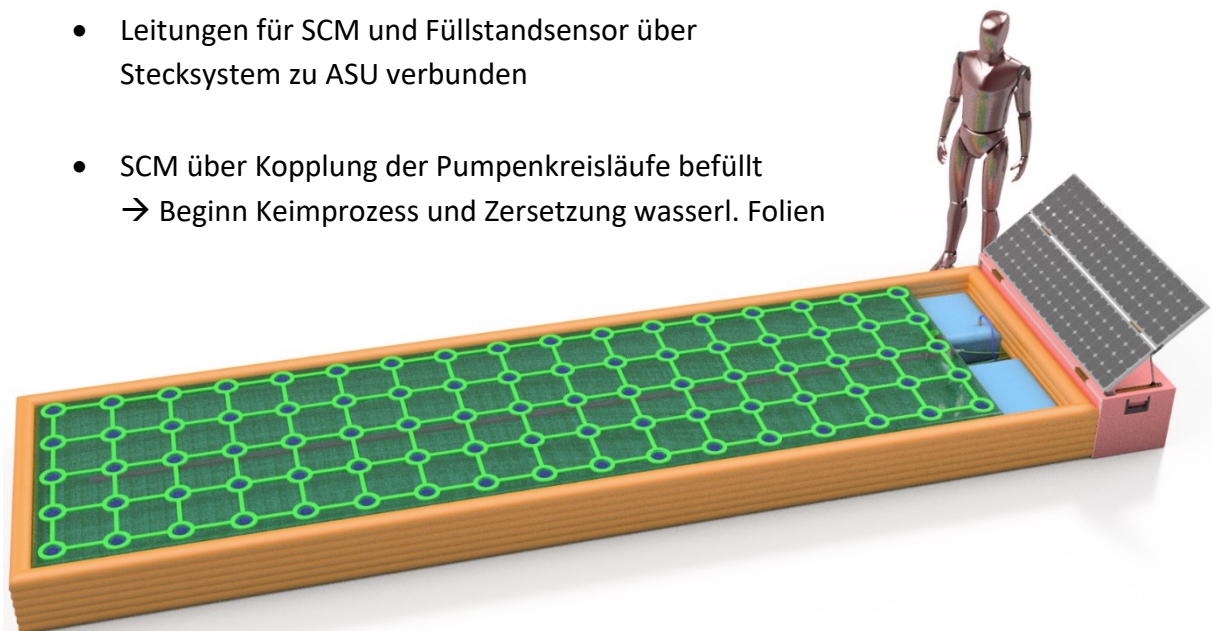


Abb. 64: Betriebsbereite MEPA mit vollständig angeschlossenen Komponenten und umgeleitetem Wasser in die SCM; Quelle: Eigenanfertigung

- Erntereife SCM mit 85 Salatköpfen à 500 g
= 42,5 kg Salat alle 34 Tage
- Manueller Ablass restlichen Nutzwassers bzw.
Aufbereitung und Wiederverwendung der MEPA
mit frischer SCM



Abb. 65: MEPA mit erntereifer Salat-SCM; Quelle: Eigenanfertigung

6. Diskussion

Abschließend sind in diesem Kapitel die Ergebnisse diskutiert und Bemerkungen verfasst, die zu einer zukünftigen Umsetzung dienlich sein sollen und es sind Ausblicke gewährt, die Anregungen für die Raumfahrtanwendung beschreiben.

Um Rückschlüsse zu den vorliegenden Ergebnissen zu treffen, sei die Einhaltung der Systemanforderungen überprüft. Bis auf eine Ausnahme, sind sämtliche Anforderungen erfüllt, dennoch gibt es Stellen an denen Kritik zu üben ist. Die Forderung mit der Kennung MEPA_02 besagt, dass bis auf Wasser, alle zum Wachstum benötigten Bestandteile im Auslieferungszustand integriert sein sollen. Für die Lagerung der Nährstoffe ist dies nicht gegeben, da sich für eine Versorgung mit Flüssigkomponenten entschieden wurde. Vorgefüllte Nährstoff- und Säure/Base-Behälter bedeuten ein zusätzliches Gewicht von 16 kg pro Einheit und es widerspricht dem Ansatz nach einer Auslieferung im trockenen Zustand. Um die Anforderung dennoch zu erfüllen, besteht die Möglichkeit, die Nährstoffe in den Tanks in Pulverform oder als Granulat zu lagern und vor Ort mit möglichst reinem Wasser zu lösen. Ferner bietet der beschriebene Einsatz von Spülsteinen einen Lösungsansatz, dessen

Machbarkeit jedoch eine intensivere Untersuchung erfordert. Nicht zu vernachlässigen sei der positive psychologische Effekt durch die Arbeit mit Pflanzen, der im Einsatz in Auffanglager für Geflüchtete eine größere Rolle spielen könnte. Falls Ressourcen vorhanden sind ist es denkbar, die Nährstofflösung vor Ort selbst zu produzieren. Weiteres ist bei der Umsetzung zu einem Serienmodell zu entscheiden und hängt stets von den Umgebungsbedingungen am Anwendungsort ab.

Auf kurze Sicht sollte bei der zukünftigen Umsetzung der MEPA zum EM folgenden Bemerkungen Beachtung geschenkt werden, die zusammengefasst aufgezählt sind.

- Die SCM ist für universelle Pflanzen designt. Für Salat und andere Pflanzen mit vergleichsweise kleinem Wurzelwerk sollte die Höhe nach Möglichkeit verringert werden. Eine befüllte SCM fasst 700 l, aber voraussichtlich werden nur 333 l für Salat verbraucht. Pro Ernte blieben 367 l zurück, die nicht ohne Aufbereitung wiederverwendet werden können.
- Die ASU ist so konzipiert, dass genügend Platz für eine weitere SCM oder Ersatzteile vorhanden ist. Die Komponenten im Gehäusemodell sind nicht nach den Maßstäben einer optimalen Raumausnutzung angeordnet, da für diese Arbeit eine Übersichtlichkeit priorisiert ist. Beispielhaft angeführt ist der ASU-Schwerpunkt, der bei Leergewicht und der Batterie geschuldet, dezentral vorliegt. Eine Neuorientierung ist an mitgeführte Spare-Elemente und den Kabelverlauf anzupassen.
- Säuren und Basen tragen je nach Zusammensetzung Anteile zu den Nährstoffen bei. Sollte bspw. HNO_3 als Säure genutzt werden, ist der Stickstoffanteil in die Nährstoffzufuhr mit einzubeziehen. Ebenso sind Säure und Base möglichst weit voneinander getrennt zu lagern. In der ASU sollten sie jeweils in die äußeren Tanks gefüllt werden.
- Für die Testphase ist es ratsam, den Ozon- bzw. Sauerstoffgehalt mit zusätzlicher Sensorik zu überwachen, um Aussagen darüber treffen zu können, welche Mengen optimal für die Wurzelzone sind, und ob bei dauerhafter Ozonisierung die zusätzliche Sauerstoffzufuhr per Luftansaugung noch notwendig ist.

- Es besteht weiteres Potenzial zur Gewichtsreduzierung. Verbindungsteile enthalten teilweise Messing- bzw. Edelstahlkomponenten, denen möglicherweise eine Leichtbau-Alternative geboten werden kann. Der Einheitlichkeit wegen sind, soweit möglich, Bauteile von gleichen Zulieferern ausgewählt worden.
- Es sei geraten den minimalen Öffnungsdurchmesser des 3/2-Wegeventils zu überprüfen, da die Angabe mit $\varnothing 13 \text{ mm}$ für ein Ventil mit G 3/8" ($\varnothing 9,525 \text{ mm}$) Anschlüssen zweifelhaft erscheint. Alternativ kann das Ventil durch zwei 2/2-Wegeventile ersetzt werden.
- Aus Rückmeldungen ist hervorgegangen, dass potenzielle Abnehmer daran interessiert sind, die Anwendungsgebiete weiter auszubreiten, möglichst wiederverwendbare bzw. biologisch abbaubare Systeme zu erhalten, sowie MEPA als Schulungseinheit zu gebrauchen.

6.1. Ausblick

Auf lange Sicht gelten auch für die Anwendung in der Raumfahrt vorzunehmende Anpassungen. In den ersten Anwendungsphasen ist es vorstellbar SCMs beispielsweise in leergeräumten Versorgungsfrachtern mit vorhandener Energieversorgung zu platzieren, in denen Pflanzen mit geringer Wachstumshöhe auch übereinander angeordnet werden können. Die Versorgungseinheit umfasst in diesem Fall lediglich jene Aufgaben, die nicht von der umgebenden Einrichtung bereitgestellt werden können. Bei voranschreitender Entwicklung kann nicht nur die Versorgung mit Energie und künstlichem Licht ausgelagert werden, sondern im besten Fall sind Wasser und Nährstoffe durch die Eingliederung in Lebenserhaltungssysteme gegeben. Die Atmosphärenkontrolle hat in der Raumfahrtanwendung unverzichtbare Bedeutung, da keine bzw. eine unzureichende natürliche Atmosphäre gegeben ist. Ein künstlich erzeugter Lebensraum ist entweder durch eine Besatzung gegeben, oder in einem geschlossenen System für die Kultur individuell geregelt. Der Austausch von Wasser, Sauerstoff, Kohlenstoffdioxid und weiteren Nährstoffen ergänzt

sich mit dem des Menschen hervorragend, da voneinander durch Abbauten des anderen profitiert wird.

Die Abb. 66 zeigt eine Impression einer Szenerie in der anfänglichen Phase vor oder während der Errichtung eines strahlungssicheren Mondhabitats. Gezeigt sind vertikal angeordnete SCMs mit minimalisierter ASU im Inneren eines ausrangierten Weltraumfrachters.

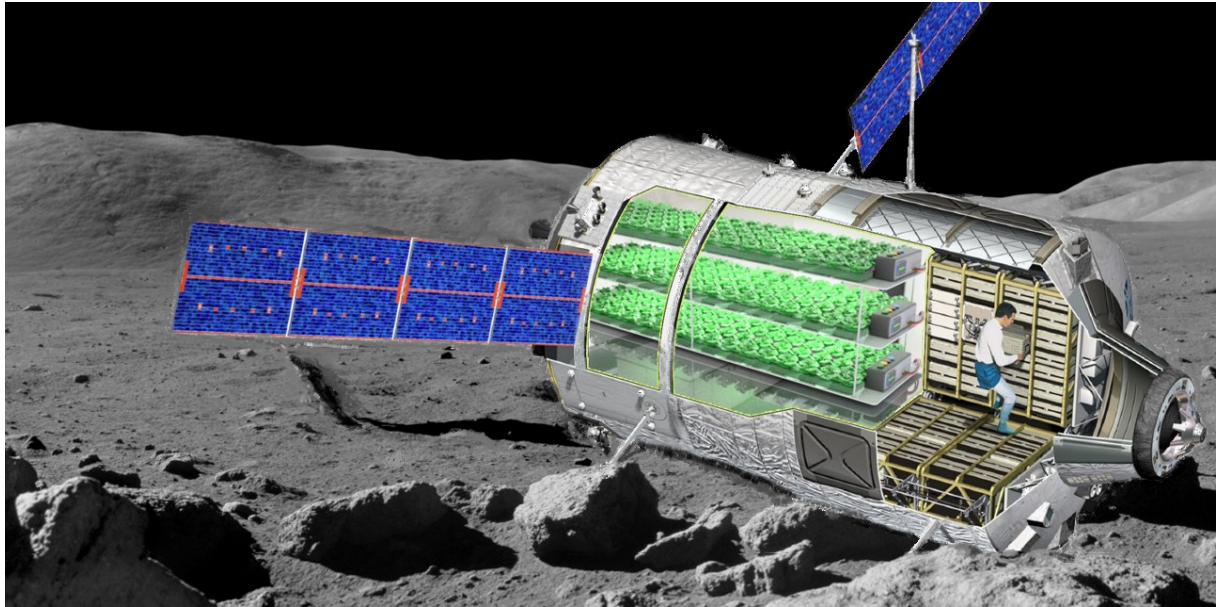


Abb. 66: Anwendungsimpression der MEPA für Raumfahrtmissionen auf dem Mond als provisorischer Aufbau in ausgeräumtem ATV Frachter unter künstlicher Beleuchtung zur Nahrungsversorgung bis ein strahlungssicheres Habitat errichtet ist; Quelle: modifiziert aus esa.int

Ein real konzipiertes Beispiel ist parallel zu dieser Arbeit entstanden und zeigt eine Pflanzenanbaueinheit als entfaltbares Zelt mit Schleuse in Abb. 67. In der geschlossenen Einheit ist die interne Atmosphäre kontrollierbar und daher kommt für das Modul ebenso eine Eignung für extraterrestrische Gebiete in Frage. Das System nutzt eine Wasserrückgewinnung des Transpiration-Kondensats, womit der Wasserverbrauch auf ein Minimum reduziert ist. Auch hier ist das Ziel nach Unabhängigkeit umgesetzt und eine Eingliederung in bestehende Systeme ist ebenso möglich. Die mit Luft befüllten Stützstreben sollen als Vorbild für die Erweiterung der MEPA-IGS dienen, an denen hochwachsende Pflanzen als Befestigung angebunden werden können. Die Systeme könnten auch kombiniert werden, indem mehrere MEPAs in einer solchen geschlossenen Zelt-Einheit aufgestellt werden.

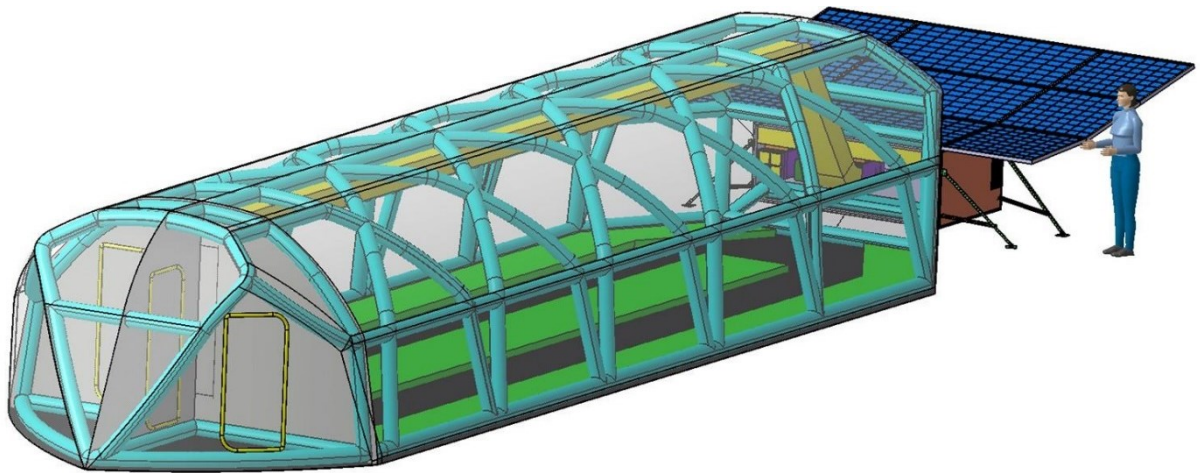


Abb. 67: Pflanzenanbaueinheit als geschlossenes System, durch eine Schleuse begehbar, inkl. Wasserrückgewinnung, Atmosphärenkontrolle, Tropfbewässerung und mit Substrat befüllten Wurzelkissen; Quelle: Waldemar Cekusov

Zusammenfassend sind die Anwendungsmöglichkeiten für die MEPA sowohl in der Raumfahrt als auch im terrestrischen Gebrauch vielfältig einzusetzen und versprechen ein hohes Potential, die Nahrungsversorgung an Orten ohne konventionelle Bepflanzungsmöglichkeiten mit frischen Nahrungsmitteln zu ergänzen. Das Projekt kann mit Beendigung dieser Arbeit in die Testphase übergehen, womit ein Nachweis der Betriebsfähigkeit erzielt wird.

Literaturverzeichnis

- [1] NASA Office of Inspector General, „Audit of commercial resupply services to the International Space Station - Report No. IG-18-016,“ Washington, D.C., 2018.
- [2] SpaceX, „spacex.com,“ [Online]. Available: <https://www.spacex.com/about/capabilities>. [Zugriff am 30 Juli 2019].
- [3] H. W. Jones, „The Recent Large Reduction in Space Launch Cost,“ in *ICES-2018-81*, Albuquerque, New Mexico, 2018.
- [4] Food and Agriculture Organization of the United Nations, „AQUASTAT database,“ 2016.
- [5] H. Turrall, J. Burke und J.-M. Faurès, *Climate change, water and food security*, Rom, Italien: FAO, 2011.
- [6] E. Exarchou, „Dissertation: Steuerung von Bewässerungssystemen im Gewächshaus mit Hilfe des Phytomonitoring,“ Humboldt-Universität, Berlin, 2006.
- [7] Norddeutscher Rundfunk, „tagesschau.de,“ ARD, 19 März 2019. [Online]. Available: <https://www.tagesschau.de/ausland/kapstadt-wasserknappheit-111.html>. [Zugriff am 20 Januar 2020].
- [8] S. C. B. M.-D. P. R. Z. S. C. v. D. F. H. L. N. P. P. P. V. H. K. B. M. Shukla, „Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystem,“ Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019.
- [9] World Food Programme, [Online]. Available: <https://de1.wfp.org/>. [Zugriff am 2 August 2019].
- [10] G. J. Sales, „Nutrition supply in humanitarian markets: A market analysis for MEPA-units,“ Fontys International Business School Venlo, Bremen, 2019.
- [11] D. G. Dalrymple, „Controlled environment agriculture : a global review of greenhouse food production,“ U.S. Department of Agriculture - Economic Research Service, Washington, D.C., 1973.
- [12] P. M. Pattison, J. Y. Tsao, G. C. Brainard und B. Bugbee, „LEDs for photons, physiology and food,“ *Nature*, pp. 493-500, 21 November 2018.

- [13] C. L. Mackowiak, L. P. Owens und C. R. Hinkle, „Continuous Hydroponic Wheat Production Using A Recirculating System,“ NASA Biomedical Operations and Research Office, Kennedy Space Center, Florida, USA, 1989.
- [14] H. Gislerød, A. Selmer-Olsen und L. Mortensen, „The effect of air humidity on nutrient uptake of some greenhouse plants,“ Department of Floriculture and Greenhouse Crops, Agricultural University of Norway, Ås, Norwegen, 1987.
- [15] M. Pattison, M. Yamada, K. Lee und K. Stober, „Energy Savings Potential of SSL in Horticultural Applications,“ U.S. Department of Energy, Washington, DC, 2017.
- [16] P. Zabel, M. Bamsey, C. Zeidler, V. Vrakking, D. Schubert, O. Romberg, G. Boscheri und T. Dueck, „The preliminary design of the EDEN ISS Mobile Test Facility - An Antarctic greenhouse,“ 46th International Conference on Environmental Systems ICES, Wien, Österreich, 2016.
- [17] C. Nicoletto, C. Maucieri und P. Sambo, „Effects on Water Management and Quality Characteristics of Ozone Application in Chicory Forcing Process: A Pilot System,“ Department of Agriculture, Food, Natural Resources, Animals and Environment, University of Padova, Legnaro, Italien, 2017.
- [18] D. Schubert, „Greenhouse production analysis of early mission scenarios for Moon and Mars habitats,“ De Gruyter Open, Bremen, 2017.
- [19] L. Polsfuß, „Pflanzenfabrik,“ 24 Juli 2019. [Online]. Available: <https://www.pflanzenfabrik.de/systeme-der-hydroponik/>. [Zugriff am 9 August 2019].
- [20] B. Bugbee, „Nutrient Management in Recirculating Hydroponic Culture,“ Crop Physiology Laboratory, Utah State University, Logan, UT, 2004.
- [21] L. I. Trejo-Téllez und F. C. Gómez-Merino, „Nutrient Solutions for Hydroponic Systems,“ Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, State of Mexico, 2012.
- [22] T. Asao, Hydroponics - A Standard Methodology For Plant Biological Researches, Kroatien: Intech, 2012.
- [23] J. Gautzsch, „Entwicklung und Konstruktion eines Wassermanagementsystems für eine autarke entfaltbare Pflanzenanbaueinheit,“ Jade-Hochschule Wilhelmshaven, Wilhelmshaven, 2019.

- [24] S. Wilhelm, Wasseraufbereitung - Chemie und chemische Verfahrenstechnik, Trier: Springer, 2008.
- [25] R. M. Wheeler, „Agriculture for Space: People and Places Paving the Way,“ De Gruyter Open Agriculture, Kennedy Space Center, Florida, USA, 2017.
- [26] EDEN ISS, „Ground Demonstration of Plant Cultivation Technologies and Operation in Space,“ Horizon 2020 - Research and Innovation Action (RIA), Bremen, 2015.
- [27] K. Benke und B. Tomkins, Future food-production systems: vertical farming and controlled-environment agriculture, online: Informa UK Limited, 2017.
- [28] D. Schubert, „MEPA - Beschreibung der Produkt- und Dienstleistungsidee,“ Bremen.
- [29] M. Kreuter und H. Hoffmann, Der Bio-Garten, München: BLV-Verlagsgesellschaft, 1985.
- [30] A. S. Klix, „Systemanalyse einer Pflanzenkultivierungsmatte für den Anbau von Nahrungsmitteln,“ Westfälische Hochschule, Bocholt, 2019.
- [31] H. Laber und G. Lattauschke, Gemüsebau, Stuttgart: Ulmer, 2014.
- [32] U. Lindner und B. Billmann, Planung, Anlage und Auswertung von Versuchen im ökologischen Gemüsebau, Frankfurt a.M.: Forschungsinstitut für biologischen Landbau, 2006.
- [33] M. S. Anderson, M. K. Ewert und J. F. Keener, „Life Support Baseline Values and Assumptions Document,“ National Aeronautics and Space Administration, Houston, Texas, 2015.
- [34] F. Göhler und H. D. Molitor, Erdelose Kulturverfahren im Gartenbau, Ulmer, 2002.
- [35] S. Unruh, „Analysis of a lightweight and compact plant growing structure for use,“ TU-Berlin, Berlin, 2019.
- [36] S. Prof. Dr.-Ing. Wilhelm, Wasseraufbereitung, Chemie und chemische Verfahrenstechnik, Trier: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008.
- [37] Ozone Tech Systems OTS AB, „ozontech.com,“ [Online]. Available: <https://www.ozonotech.com/de/ueber-ozon>. [Zugriff am 20 Februar 2020].
- [38] „Erwin Sander Elektroapparatebau GmbH,“ [Online]. Available: <https://www.aqua-sander.de/produkte/ozonisatoren/ozonisatoren-certizon.html>. [Zugriff am 5 März 2020].

- [39] Seawater Cubes GmbH, „seawatercubes.de,“ [Online]. Available: <https://seawatercubes.de/stroemungspumpe/>. [Zugriff am 10 März 2020].
- [40] P. Vijayaraghavareddy, V. Adhinarayanreddy, R. S. Vemanna, S. Sreeman und U. Makarla, „Quantification of Membrane Damage/Cell Death Using Evan's Blue Staining Technique,“ Department of Crop Physiology, University of Agricultural Sciences, GKVK, Bengaluru, India, 2017.
- [41] N. Domurath und I. f. T. i. G. GmbH, Interviewees, *Befragung zum Nährstoffbedarf von Bottlecrop*. [Interview]. November 2019.
- [42] YARA GmbH & Co. KG, „YaraTera Ferticare, voll wasserlösliche Mehrnährstoffdünger,“ Yara Deutschland, Dülmen, 2019.
- [43] C. D. Brown, Elements of spacecraft design, Reston, Virginia: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2002.
- [44] Credo, „credo.hr,“ [Online]. Available: <http://credo.hr/de/product/beutel-im-karton-metaliziren/>. [Zugriff am 15 März 2020].
- [45] Scholle IPN, „scholleipn.com,“ [Online]. Available: <http://www.scholleipn.com/product/8100-adapter-bag-in-box-package/>. [Zugriff am 17 März 2020].

Anhang

Dateisammlung CAD-Modell

Die CAD Dateien sind in digitaler Form für die Software *Inventor* und *CATIA* beigelegt.

Datenblattsammlung

Die Datenblattsammlung ist ebenso separat in digitaler Form beigelegt, sowie im Folgenden einzusehen.

NF 600

MEMBRAN FLÜSSIGKEITSPUMPEN



NF 600 KPDCB

VORTEILE

- Selbstansaugend und druckstark
- Hohe chemische Resistenz
- Trockenlaufsicher, langlebig und wartungsarm

MÖGLICHE EINSATZGEBIETE

- Analysetechnik
- Labortechnik
- Reinigungsindustrie
- Repratechnik

Für weitere Informationen
besuchen Sie bitte unsere
Website www.knf.com



LEISTUNGSDATEN

Serienmodell	NF 600 DC			NF 600 DCB	NF 600 AA
Materiale Ausführung	KP	KT	TT		
Pumpenkopf	PP	PP	PTFE		
Membrane	PTFE	PTFE	PTFE		
Ventile	EPDM	FFKM	FFKM		
Förderleistung bei atm. Druck (l/min)	5.5			6	
Saughöhe (mWS)	3				
Druckhöhe (mWS)	10				
Zulässige Umgebungstemperatur (°C)	+5 bis +40				
Zulässige Mediumtemperatur (°C)	+5 bis +80				
Gewicht (kg)	1.5				3.0
IP Schutz	50			54	54

ELEKTRISCHE DATEN

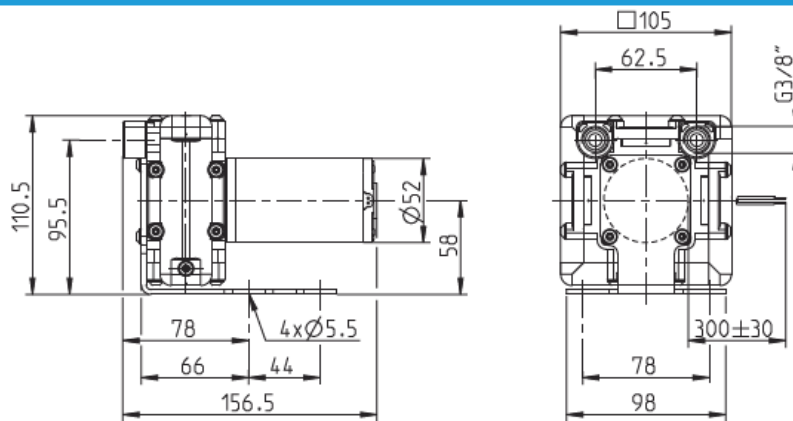
Betriebsspannung (V)	24	24	230 V / 50 Hz	115 V / 60 Hz
Leistungsaufnahme (W)	34	44	99	98
I Last max. (A)	1.4	1.8	0.43	0.85

NF 600 DC

LEISTUNGSBEREICHE

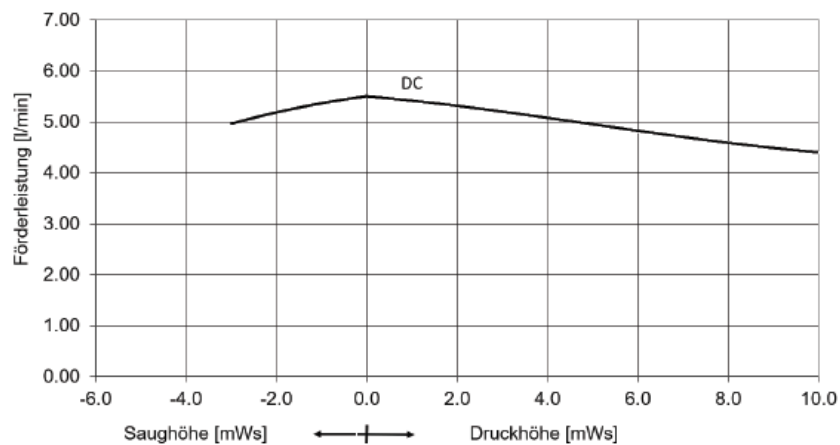
Serienmodell	Förderleistung bei atm. Druck (l/min)	Max. Saughöhe (mWS)	Max. Druckhöhe (mWS)
NF 600 DC	5.5	3	10

NF 600 DC



Angaben in mm

NF 600 DC FÖRDERKURVE



OPTIONEN		
Benennung	Abbildung	Details
Motoren		Verschiedene Spannungsvarianten, höhere oder tiefere Lebensdauer
Elektrische Anschlüsse		Molex, AMP etc.
Hydraulische Anschlüsse		G / NPT Innengewinde

ZUBEHÖR		
Benennung	Abbildung	Details
Druckhalteventil		Der Einsatz des Ventils dient zur Erzeugung eines konstanten Gegendrucks sowie zur Optimierung der Dosiergenauigkeit.
Pulsationsdämpfer		Dieser vielseitig einsetzbare Pulsationsdämpfer trägt zur Verringerung der Vibrationen in den Leitungen bei und minimiert prozessstörende oder beeinflussende Pulsationen.

Die Leistungswerte für die in diesem Datenblatt dargestellten Serienmodelle wurden unter Testbedingungen ermittelt. Die tatsächlichen Leistungswerte können hiervon abweichen und sind insbesondere abhängig von den Nutzungsbedingungen und somit von der konkreten Anwendung, den Parametern der beteiligten Komponenten im System des Nutzers sowie von ggf. durchgeführten technischen Änderungen und Modifikationen, die von der Standardkonfiguration oder vom Auslieferungszustand abweichen.

Sollten auf Grundlage von Serienmodellen kundenindividuelle Ausführungen erstellt worden sein, so können für diese andere technische Leistungsdaten gelten.

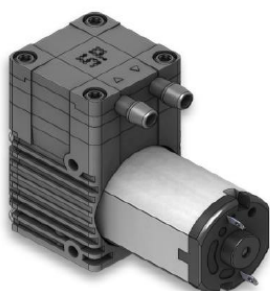
Vor der Inbetriebnahme ist die zugehörige Bedienungsanleitung und/oder Montageanleitung zu lesen und deren Sicherheitshinweise zu beachten.

KNF behält sich das Recht vor, am Produkt und der zugehörigen Dokumentation Änderungen durchzuführen, ohne vorherige Information der Kunden.

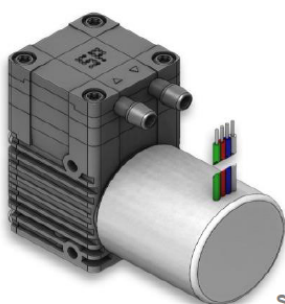


www.knf.com

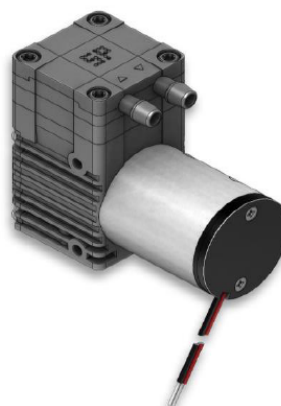
Technische Änderungen vorbehalten. KNF 06/2019. www.knf.com



SP 570 EC-LC-L



SP 570 EC-BL-L



SP 570 EC-L

We care.

Customised Pumps - No Additional Costs!

Product Features

- Micro diaphragm pump for liquids
- Chemical resistant versions available
- From low-cost to durable brush-less drives
- Low weight and extremely small size
- Applicable for noise- and vibration-sensitive environments
- Self-priming
- Installation in any mounting orientation allows simple device integration
- Oil-free and maintenance-free
- Optional inlet pulsation damper

Application Examples

- Industrial applications
- Medical applications
- Laboratory applications
- Analytical applications
- Cooling and heating
- Cleaning and disinfection
- Inkjet printers and reprography
- Fuel cells

and many more...

Customisation

- We offer your customised precision pump without additional costs - even for small batches
- Outstanding quality
- Excellent technical consultation and service by experts
- More than 40 years experience in pump applications
- Fast delivery - order your sample now!




Schwarzer
Precision

Am Lichtbogen 7 • 45141 Essen • Germany
Phone: +49 201 31697-0 • Fax: +49 201 31697-29
e-mail: info@schwarzer.com • <http://www.schwarzer.com>

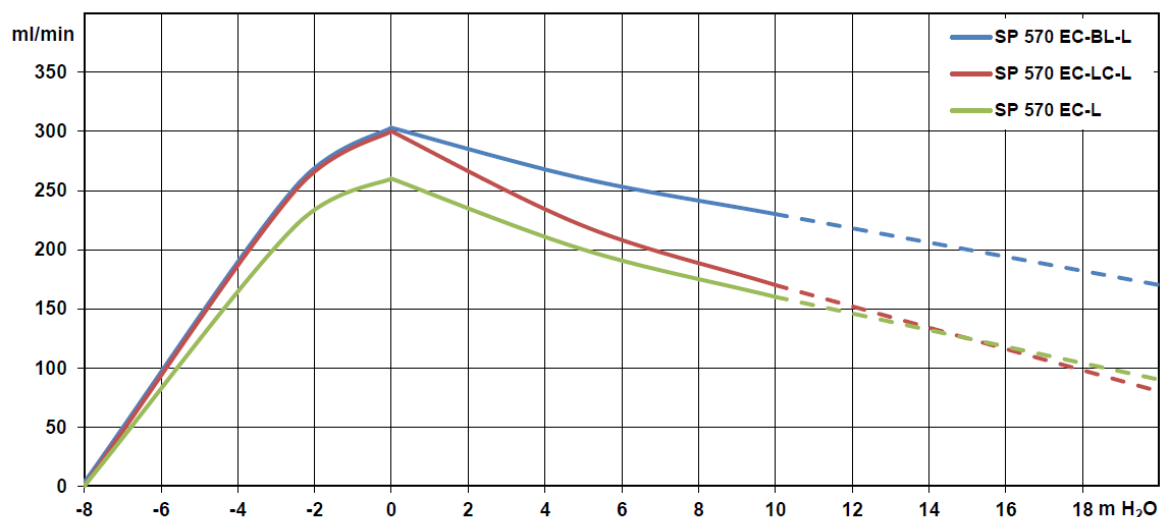


The pumps listed below represent a typical selection of our wide range of eccentric pumps and are intended for initial tests.
Customised versions for your individual application would be made without additional costs - please contact us!
 All flow values given under norm conditions (according to DIN 1343). Optional materials can cause deviating performance values.

Designation	SP 570 EC-LC-L		SP 570 EC-L		SP 570 EC-BL-L	
Art.No.	7s58060	7s58061	7s58070	 Quick availability 7s58071 [1]	7s58090	7s58091
Operating Voltage [Vdc]	6	12	12	24	12	24
Hydraulic Performance (measured with water at 20°C)						
Free Flow [ml/min]	300	300	260	260	300	300
Pressure Side						
Flow at 5 m H ₂ O [ml/min]	220	220	200	200	260	260
Flow at 10 m H ₂ O [ml/min]	170	170	160	160	230	230
max. Pressure Height [m H ₂ O]	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
Although the pumps are able to produce pressure above 10 m H ₂ O, it is not recommended to exceed this limit!						
Vacuum Side						
Flow at -2.5 m H ₂ O [ml/min]	250	250	220	220	250	250
max. Suction Height (filled system) [m H ₂ O]	-8.0	-8.0	-8.0	-8.0	-8.0	-8.0
max. Vacuum (dry) [mbar]	-300	-300	-300	-300	-450	-450
Motor / Power Consumption						
Standard Motor	iron core / sintered bearings		skew wound / ball bearings		brushless, analog or PWM control / ball bearings	
For extended lifetime ball bearings are recommended!						
max. Nominal Current [mA]	550	300	150	100	350	200
Optional Motor Type	-		-		brushless, constant speed or without internal electronics	
Construction						
Pump Head	standard	PPS				
	optional	customer specific (upon request)				
Diaphragm, Valves	standard	EPDM				
	optional	FKM / Silicone / FFKM / special compounds on request				
Weight [g]	55		80		60	

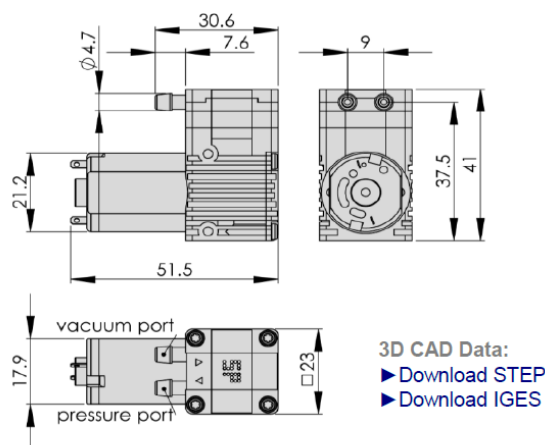
[1] These pumps are our basic types for initial tests. Quick availability: **Shipping within 24 hours!**

Performance Curves

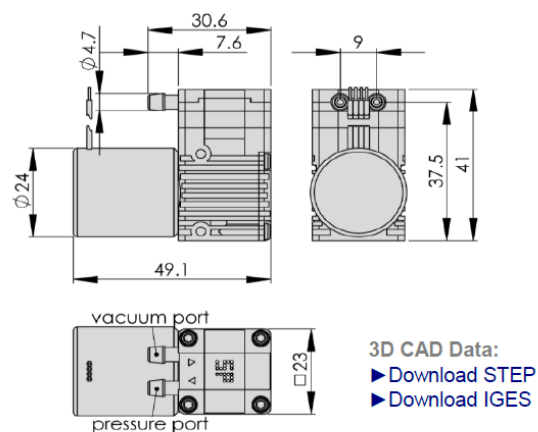




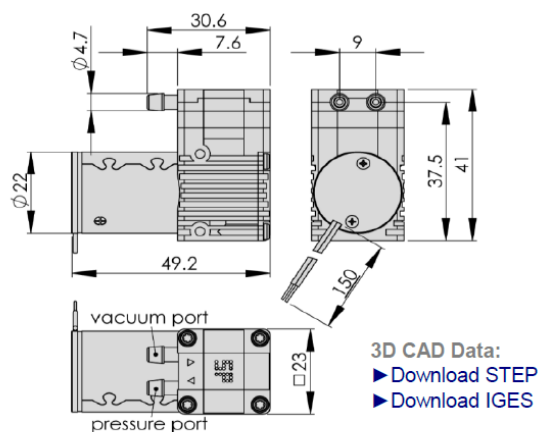
SP 570 EC-LC-L



SP 570 EC-BL-L



SP 570 EC-L



Standard: connection ports as shown
Optional: 3 other port positions possible

You can also download the 3D CAD data on the SP website:
► www.schwarzer.com/download



Schwarzer
Precision

Am Lichtbogen 7 • 45141 Essen • Germany
Phone: +49 201 31697-0 • Fax: +49 201 31697-29
e-mail: info@schwarzer.com • <http://www.schwarzer.com>



LITHIUM IRON PHOSPHATE BATTERY

ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Nominal Voltage	25.6 V
Nominal Capacity	50 Ah
Capacity @ 25A	120 min
Energy	1280 Wh
Resistance	≤60 mΩ @ 50% SOC
Efficiency	99%
Self Discharge	<3% per Month
Maximum Modules in Series	1 (Single Use)

DISCHARGE SPECIFICATIONS

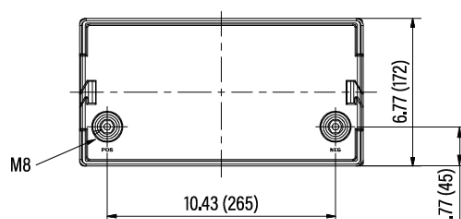
Maximum Continuous Discharge Current	50 A
Peak Discharge Current	100 A (7.5 s ±2.5 s)
BMS Discharge Current Cut-Off	215 A ±15 A (10 ±5 ms)
Recommended Low Voltage Disconnect	22 V
BMS Discharge Voltage Cut-Off	16 V (2.0 ±0.08 vpc) (20 ±6 ms)
Reconnect Voltage	20 V (2.5 ±0.05 vpc)
Short Circuit Protection	200-600 μs

TEMPERATURE SPECIFICATIONS

Discharge Temperature	-4 to 140 °F (-20 to 60 °C)
Charge Temperature	-4 to 113 °F (-20 to 45 °C)
Storage Temperature	23 to 95 °F (-5 to 35 °C)
BMS High Temperature Cut-Off	176 °F (80 °C)
Reconnect Temperature	122 °F (50 °C)

*Refer to charge currents below 32°F (0°C)

DIMENSIONAL SPECIFICATIONS



MECHANICAL SPECIFICATIONS

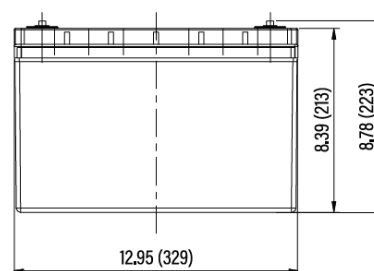
Dimensions (L x W x H)	13.0 x 6.8 x 8.8"
	329 x 172 x 223 mm
Weight	29.1 lbs (13.2 kg)
Terminal Type	M8
Terminal Torque	80 - 100 in-lbs (9 - 11 N-m)
Case Material	ABS
Enclosure Protection	IP56
Cell Type - Chemistry	Cylindrical - LiFePO ₄

CHARGE SPECIFICATIONS

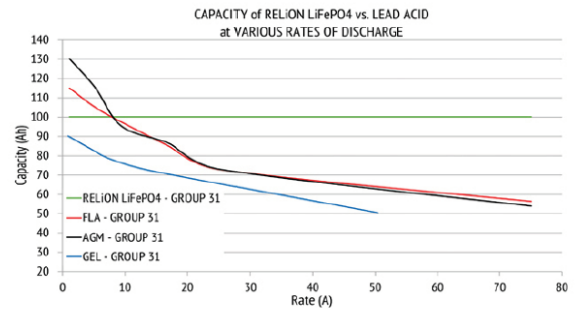
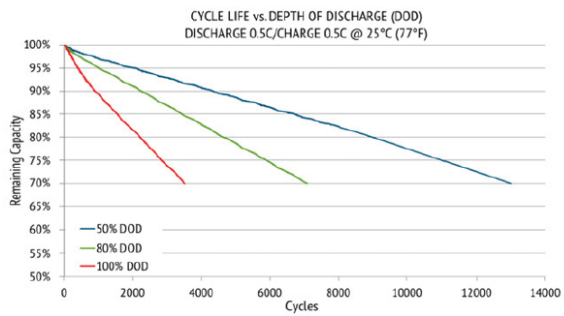
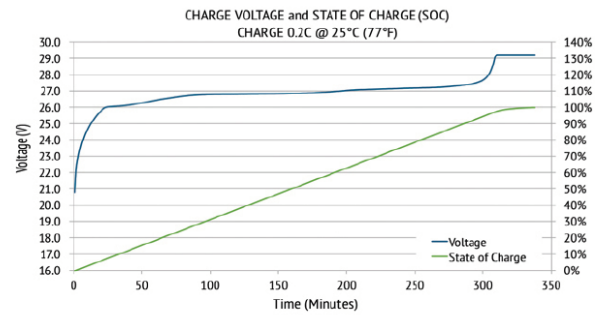
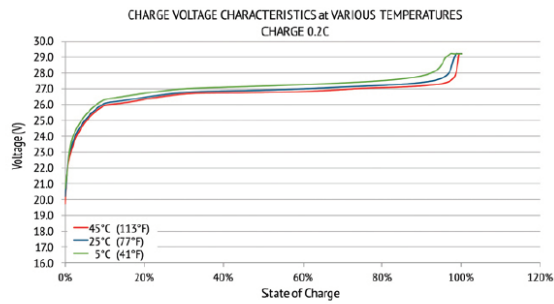
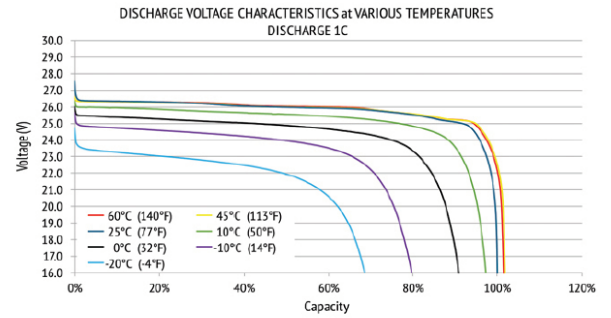
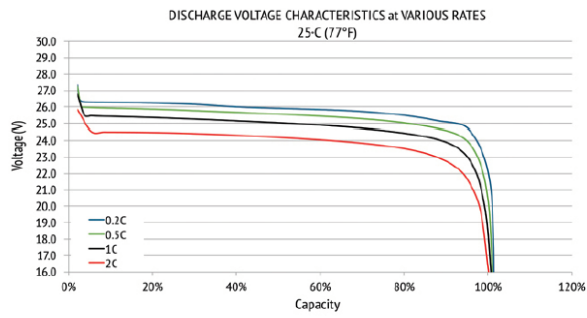
Recommended Charge Current	2.5 A - 25 A
Maximum Charge Current	50 A
Charge Current 14 to 32 °F (-10 to 0 °C)	≤0.1 C
Charge Current -4 to 14 °F (-20 to -10 °C)	≤0.05 C
Recommended Charge Voltage	28.4 V - 29.2 V
BMS Charge Voltage Cut-Off	31.2 V (3.9 ±0.025 vpc) (1.1 ±0.4 s)
Reconnect Voltage	30.4 V (3.8 ±0.05 vpc)
Balancing Voltage	28.8 V (3.6 vpc)

COMPLIANCE SPECIFICATIONS

Certifications	CE (battery) UL1642 & IEC62133 (cells)
Shipping Classification	UN 3480, CLASS 9



PERFORMANCE CHARACTERISTICS



CIS-N (10-20 A)

Solarladeregler mit Beleuchtungssteuerung



phocos



Produkteinführung

Der CIS-N wurde speziell für die optimale Leistung in industriellen PV-Systemen und für anspruchsvolle Umgebungen entwickelt. Er verfügt über eine 4-stufige, seriell schaltbare PWM-Laderegulierung und ist über ein Infrarotgerät (CIS-CU oder MXI-IR und CISCOM Software) voll programmierbar.

Der CIS-N verfügt über eine komfortable und fortschrittliche Lichtsteuerung, mit der Sie entscheiden können, ob die automatische Beleuchtungssteuerung mit LED-Dimmung zeit- oder niederspannungsgesteuert erfolgen soll.

Produkteigenschaften

- Funktioniert in 12 oder 24 V Systemen (automatische Erkennung)
- Vollständig programmierbares Lade-/Entladeprogramm über Infrarot (CIS-CU oder MXI-IR und CISCOM Software)
- Einstellungen für Zeit- und Niederspannungs-Dimmen
- Dimmen-Schnittstelle für externe LED-Treiber
- Voll vergossenes (IP68) Aluminiumgehäuse
- UL1741/Class I Div. 2 zertifiziert
- Infrarot-programmierbare Laststeuerung mit Dimmung, ideal für Beleuchtungssysteme

Optionales Zubehör

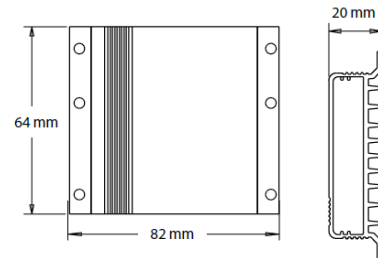
CIS-CU

- Infrarot-Fernbedienung

MXI-IR

- Infrarot zu USB Schnittstellenadapter und Zubehör für die CISCOM Software

Technische Zeichnung



Technische Daten

Typ	CIS-N-10	CIS-N-20
Systemspannung	12/24 V automatische Erkennung	
Max. Lade-/Laststrom	10 A	20 A
Erhaltungsladung	13,8/27,6 V (25 °C)	
Hauptladung	14,4/28,8 V (25 °C), 0,5 h (täglich)	
Boostladung	14,4/28,8 V (25 °C), 2 h Aktivierung: Batteriespannung < 12,3/24,6 V	
Ausgleichsladung	14,8/29,6 V (25 °C), 2 h Aktivierung: Batteriespannung < 12,1/24,2 V (mindestens alle 30 Tage)	
Tiefentladeschutz	11,0–12,0/22,0–24,0 V (durch Ladezustand) 11,0–11,9/22,0–23,8 V (durch Spannung)	
Wiedereinschaltspannung	12,8/25,6 V	
Überspannungsabschaltung	15,5/31,0 V	
Unterspannungsabschaltung	10,5/21 V	
Max. Solarspannung	30/50 V	
Temperaturkompensation (Ladespannung)	-25 mV/K (12 V), -50 mV/K (24 V)	
Max. Eigenverbrauch	5–8 mA / 6–10 mA	
Erdung	Negativ geerdet	
Umgebungstemperatur	-40 bis +60 °C	
Max. Höhenlage	4.000 m ü. NN	
Batterietyp	Blei (GEL, AGM, flüssig), einstellbar	
Kabellänge	100 mm / 4 in	
Max. Kabelquerschnitt	2,5 mm ² (AWG 13)	
Abmessungen (BxHxT)	82 x 64 x 20 mm / 3,2 x 3 x 1 in	
Gewicht	0,15 kg / 0,33 lbs	
Konformität	CE konform, RoHS konform	
Garantie	5 Jahre	

Der CIS-N ist NRTL zertifiziert

Hazardous Locations (HazLoc) getestet nach:
ANSI/ISA 12.12.01-2012, Class I Division 2
(Gruppe A-D).

Ordinary Locations (OrdLoc) getestet nach:
UL1741:2005 CAN/CSA C22.2 No. 107.1-01



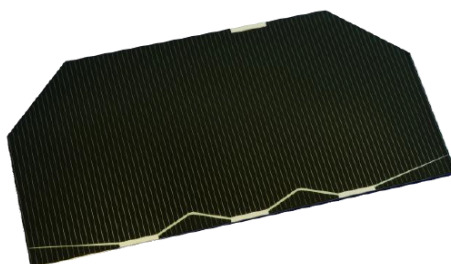
www.phocos.com

Änderungen vorbehalten Version: 27.08.2018

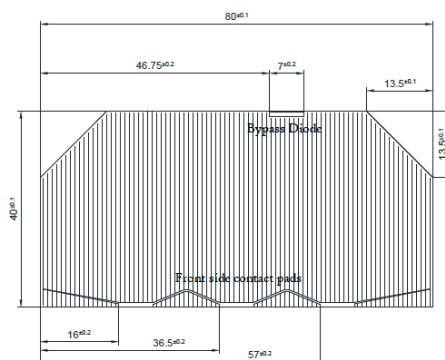


34% Triple Junction GaAs Solar Cell

Type: TJ Solar Cell 3T34C



This cell type is an InGaP/GaAs/Ge on Ge substrate triple junction solar cell (efficiency class 34%). The cell has an improved grid-design and is equipped with an integrated bypass diode, which protects the adjacent cell in the string. Based on our space solar cell structures, the whole design of the 3T34C was further developed and adapted to terrestrial application.



Issue date:
2019-02-26

DB 0003568-02-00
Page 1 of 2

Copyright © 2010 AZUR SPACE Solar Power GmbH

AZUR SPACE Solar Power GmbH
Theresienstr. 2
74072 Heilbronn
phone: +49 7131 67 2603
telefax: +49 7131 67 2727
e-mail: info@azurspace.com
website: www.azurspace.com

Certified Company

ISO 9001
ISO 14001
OHSAS 18001

3T34C

Special

34% Triple Junction GaAs Solar Cell

Type: TJ Solar Cell 3T34C



Design and Mechanical Data

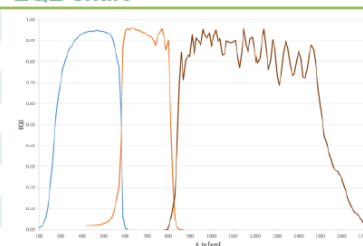
Base Material	GaInP/GaAs/Ge on Ge substrate
AR-coating	TiO _x /Al ₂ O ₃
Dimensions	40 x 80 mm ± 0.1 mm
Cell Area	30.18 cm ²
Average Weight	≤ 86.2 mg/cm ²
Thickness	150 ± 20 µm
Contact Metallisation	4 – 10 µm
Grid Design	Grid system with 3 contact pads



Electrical Data

		BOL
Average Open Circuit V _{oc}	[mV]	2681
Average Short Circuit I _{sc}	[mA]	444
Voltage at max. Power V _{mp}	[mV]	2411
Current at max. Power I _{mp}	[mA]	432
Power at MPP point P _{mp}	[mW]	1042
Average Efficiency η _{bare}	[%]	34.5

EQE chart



Spectrum: AM1.5g ASTM-G173-03; 1000 W/m²; T=25°C

Acceptance Values

Voltage V _{op}	2300 mV
Min. average current I _{op avg} @ V _{op}	440 mA
Min. individual current I _{op min} @ V _{op}	425 mA
Min. averaged efficiency (lot) eta _{avg}	34.0 %

Shadow protection

Integrated protection diode	V _{forward} (500 mA) ≤ 2.5 V
T = 25°C ± 3°C	I _{reverse} (2.8 V) ≤ 1.0 mA



Temperature Gradients (25°C - 80°C)

			BOL
Open Circuit Voltage	ΔV _{oc} /ΔT↑	[mV/°C]	- 6.0
Short Circuit Current	ΔI _{sc} /ΔT↑	[mA/°C]	0.32
Voltage at max. Power	ΔV _{mp} /ΔT↑	[mV/°C]	- 6.1
Current at max. Power	ΔI _{mp} /ΔT↑	[mA/°C]	0.28



Threshold Values

Absorptivity	≤ 0.91 (with CMX 100 AR)
Pull Test	> 1.6 N with 12.5µm Ag stripes by pulling at 45°

Issue date:
2019-02-26

DB 0003568-02-00
Page 2 of 2

Copyright © 2010 AZUR SPACE Solar Power GmbH

AZUR SPACE Solar Power GmbH
Theresienstr. 2
74072 Heilbronn
phone: +49 7131 67 2603
telefax: +49 7131 67 2727
e-mail: info@azurspace.com
website: www.azurspace.com

Certified Company

ISO 9001
ISO 14001
OHSAS 18001

Special

3T34C

SCHOLLKONSEQUENT: KOMPETENT TRANSPARENT GLAS

GEWE-solar®

Solarglas von heute – Energiesparen. Mit Durchblick!

- Eisenarme Spezialgläser und Antireflexbeschichtungen führen zur Erhöhung der Licht- und Energietransmissionswerte.
- Weißglas, strukturierte und prismierte GEWE-solar®-Gläser erfüllen höchste Anforderungen, belegt durch zahlreiche Prüfzeugnisse.
- Die Effizienz von Photovoltaikmodulen und Solarkollektoren wird mit GEWE-solar® gesteigert.
- Flexible Fertigungskapazitäten von Einscheiben-Sicherheitsglas bieten eine hohe Versorgungssicherheit.



GEWE-solar®

Lieferbare Ausführungen	GEWE-solar®		
	Extraweiß	Struktur	Prismiert
Glasstärken in mm	3 / 4 / 5	3,2 / 4	3,2 / 4
Anmerkung	GEWE-dur® Stärken 3 bis max. 15 mm		
Verpackungsvarianten	<ul style="list-style-type: none"> • liegend mit Papierzwischenlage • auf Gestellen mit Faden- oder Papierzwischenlage • in Kisten/Endcaps mit Faden- oder Papierzwischenlage 		

Technische Möglichkeiten

- auf Wunsch lieferbar mit AR-Beschichtung
- Individual- als auch Serienbedarf lieferbar

SCHOLLGLAS – Partner der Photovoltaik und Solarthermiebranche

SCHOLLGLAS GmbH
Schollstraße 4 · D-30890 Barsinghausen
Tel.: +49 (0) 5105 777-0 · Fax: +49 (0) 5105 777-26 214
gewesolar@schollglas.com
www.schollglas.com



SCHOLL
GLAS

TOSIBOX®



TOSIBOX® Lock 100

Industrieller Router mit Firewall

TOSIBOX® Lock ist ein intelligentes Netzwerkgerät für Fernzugriff, das als Endpunkt für sichere Fernverbindungen dient. Auf Geräte, die am Lock angeschlossen sind, kann sicher über das Internet und über die meisten LAN- und WAN-Netzwerke über eine verschlüsselte VPN-Verbindung zugegriffen werden.

Mit der patentierten Plug & GoTM-Verbindungsmethode können Sie den Lock direkt und in weniger als 5 Minuten ohne weitere Softwareinstallationen, Netzwerkkonfigurationen oder besondere Fähigkeiten in Betrieb nehmen.



CE FC

Vorteile von TOSIBOX®



Einfach

Eine sichere IoT-Infrastruktur in wenigen Minuten aufbauen und verwalten



Sicher

Getestete und geprüfte Sicherheit



Modular

Unbegrenzte Erweiterbarkeit und Flexibilität



Zeitlos

Funktioniert mit Vorgänger- und künftigen Systemen



Einzigartig

Weltweit patentierte Punkt-zu-Punkt-Verbindung

LOCK 150 TECHNISCHE DATEN

Produktcodes:

TBL1EU,TBL1UK,TBL1AU,TBL1US

Anschlüsse

- 1 x USB 2.0, Typ A
- 1 x RJ-45-WAN-Verbindung, 10/100 Mb/s, Auto-Negotiation (MDI / MDI-X)
- 3 x RJ-45-LAN-Verbindung, 10/100 Mb/s, Auto-Negotiation (MDI / MDI-X)
- 1 x RJ-45-Service-Verbindung, 10/100 Mb/s, Auto-Negotiation (MDI / MDI-X)

Verbindungen

- 8-30V Gleichspannung, absolutes Limit (Verpolungsschutz)
- 2xDrahtlosnetzwerk-Antennenanschluss, RP-SMA Buchse (weiblich)
- DIN-Schienenbefestigung(unten), Befestigungswinkel als Zubehör erhältlich (TBMB01)

Funktionen und Merkmale der WAN-Verbindung

- Unabhängig von Betriebssystemen
- Funktioniert mit allen Internetverbindungen (betreiberunabhängig)
- Unterstützt HTTP-Proxyserver mit und ohne Authentifizierung
- Firewall-freundlich
- Funktioniert mit dynamischen, statischen und privaten IP-Adressen
- Integrierte Firewall ,NAT
- Biszu 10 gleichzeitige VPN-Verbindungen
- VPN-Durchsatz von 6 Mb/s (Blowfish-CBC128Bit)

Funktionen und Merkmale der Mobilfunkverbindung

- Unterstützte 2G/3G/4G-USB-Modems: TOSIBOX® 3G Modem, TOSIBOX® 4G Modem. Unterstützte Drittanbieter-Modems entnehmen Sie bitte dieser Liste
- Automatische TosiOnline™-Netzwerk Wiederherstellung ermöglicht Wiederherstellung bei den meisten Problemen mit Mobilfunkbetreibern und Modems.

WLAN

- IEEE 802.11 b/g/n, max. 150 Mb/s
- WEP-, WPA-PSK-, WPA2-PSK-, WPA-PSK/WPA2-PSK-Mixed-, WPA-EAP-WPA2-EAP-TKIP/AES-Verschlüsselung
- Frequenz 2,412 – 2,462 GHz, 11 Kanäle
- Ausgangsleistung 20 dBm max

Mitgeliefertes Zubehör

- RJ-45-Cat-6-Ethernet-Kabel, USB-Verlängerungskabel
- 2 x WLAN-Antennen, 2 dBi
- Netzteil: Eingang 100 – 240 V Wechselspannung, Frequenz 47 – 63 Hz, Ausgang 24,0 V, 0,6 A, max. 7,2 W. EU-, UK-, AU- und US-Steckdose
- Gleichspannungseingangsstecker
- DIN-Schienenmontagehalterung

Physische Eigenschaften

- 132 × 99 × 35,5 mm (L×B×H)
- Gewicht 593g (Nettogewicht des Artikels)
- Aluminiumgussgehäuse
- Betriebstemperatur -25 bis +70°C
- Lagertemperatur -40 bis +70°C
- Betriebsfeuchtigkeit: 20% - 80% relative Luftfeuchte, ohne Kondensation
- Schutzklasse IP20

Lock100 Netzteil

- Modell ATS00ST-W120
- Betriebstemperatur: 0...+40°C
- Luftfeuchtigkeit bei Betrieb: 20%-80%, ohne Kondensation
- Lagertemperatur: -20...+60°C
- Lagerungsfeuchtigkeit: 10%-90%, ohne Kondensation

Kunststoff-Filtergehäuse Causa Typ Clear CLD

Die Filtergehäuse des Typs Clear sind preiswerte, transparente zweiteilige Vollkunststoff-Filtergehäuse.

Der Filterkopf besteht aus verstärktem Polypropylen (FDA grade plastic) und der Filtersumpf aus glasklarem Styrol-Acryl-Nitril (SAN). Der im Filtersumpf obenliegende O-Ring gewährleistet stets eine sichere Abdichtung. Es gibt Ausführungsvarianten mit oder ohne Entlüftung.

Für Clear Filtergehäuse steht eine große Anzahl unterschiedlicher, standardisierter Filterkerzen zur Auswahl.

Anwendungen

- Reinigung von Leitungswasser
- Amine
- Alkohole
- Säuren
- Laugen
- Öle



CLD-10 und CLD-05

Eigenschaften & Vorteile

- Transparente Kunststoff-Filtergehäuse
- Aus Polypropylen (PP) und SAN
- Mit /ohne Entlüftung
- Anschlüsse G 3/8" und G 3/4"
- Pmax 8,5 bar; Tmax 52 °C
- Standardisierte Filtereinsätze
- Preiswerte Flüssigkeitsfilter

Technische Daten CLD

Max. Betriebsdruck	8,6 bar (125 psi)
Max. Temperatur	52 °C (125 °F) bis 8,5 bar
Werkstoff - Kopf	Verstärktes Polypropylen (PP)
Werkstoff - Sumpf	Styrol-Acryl-Nitril (SAN)
Dichtung	NBR (Standard), FKM (optional)

Geeignet für viele Filterkerzen

Beschreibung	Typ	Filtergrad	Aufbau
Melt-Blown-Filterkerzen	Causafine,	1 - 50 µm	Konstruktiv unterschiedliche Polypropylen Melt-Blown Filterkerzen. Je nach Type ein- oder mehrlagig.
	Causapure,	0,5 - 100 µm	
	Causagard	1 - 100 µm (abs.)	
Microglasfaser-Filterkerze	Causa-Polyglas-R	0,3 - 5 µm	Tiefenfilterkerze mit sehr hoher Schmutzaufnahmekapazität und hoher Trennschärfe. Sicher durch integrierten PE-Nachfilter
Plissierte Filterkerzen	Causafil	0,2 - 20 µm (99,9 %)	Plissierte Oberflächenfilter mit großer Oberfläche und Schmutzaufnahme. Causa-PES ist eine Membranfilterkerze mit absoluten Abscheidegraden und auf Integrität prüfbar.
	Causasave	0,2 - 40 µm (99,99 %)	
	Causa-PES	0,04 - 1,2 µm (absolut)	
Edelstahlsiebgewebe	Causamesh	ca. 15 - 250 µm	Runde und plissierte Edelstahlsiebgewebe-Filterkerzen

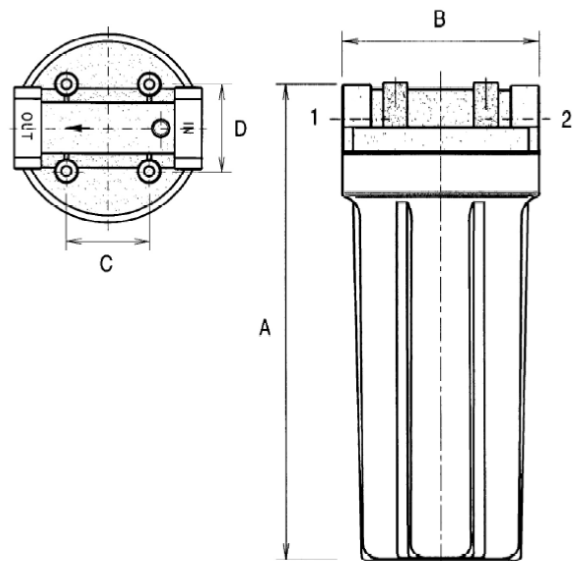
Code	Position	Farbe	Beschreibung
PP	Filterkopf	Schwarz (Blau)	Polypropylen (PP); T-Beständigkeit: -15 bis +120 (140) °C (drucklos). Hohe chemische Beständigkeit gegen organische Lösemitteln, sowie Säuren und Laugen; Heißwasser beständig; biologisch inert.. Nicht geeignet für Ketone, Toluol, DMF, Benzin, Chloroform, Fluor.
SAN	Sumpf	Transparent	Styrol-Acryl-Nitril (SAN); T-Beständigkeit: -60 bis +90 (100) °C. Gute chemische Beständigkeit gegen anorganische Säuren und Laugen sowie Öle und Glykole; Heißwasser beständig. Lebensmitteltecht. Nicht beständig gegen Aldehyde, Aromaten, Ester, Ether, org. KW u. ä.
NBR	O-Ring (Standard)	Schwarz	Acyinitril-Butadienkautschuk (NBR); T-Beständigkeit: -30 bis +100 °C. Gute chemische Beständigkeit gegen organische Lösemittel, Hydrauliköle, Säuren und Laugen. Nicht beständig gegen Benzol, Trichloräthylen u. ä.
FKM	O-Ring	Schwarz	Perfluor-Kautschuk (FKM); T-Beständigkeit: -15 bis +280 °C. Gute chemische Beständigkeit gegen organische Lösemitteln, sowie Säuren und Laugen.

Montagehinweise

Die Gehäuse sind als T-Filter für den senkrecht hängenden Einbau konzipiert und werden mittels des am Filterkopf anzuschraubenden Montagewinkels (siehe Zubehör) oder über die Rohrleitung befestigt. Die Durchströmung erfolgt immer gemäß Beschriftung (Eingang: IN, Ausgang: OUT).

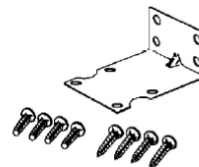
Filtergehäuse mit Entlüftungsventil können nach dem Befüllen durch Drücken der roten Taste entlüftet werden. Diese Filtergehäuse dürfen nur mit dem Sumpf nach unten montiert werden.

Achtung: Kunststoff-Filtergehäuse müssen vor Frost geschützt werden, um das Bersten der Gehäuse zu verhindern. Filtergehäuse sollten vor direkter Sonneneinstrahlung geschützt installiert werden.



Zubehör, Ersatzteile

Art.-Nr.	Beschreibung	Einsatz
310191	Montagewinkel 3/8" mit Schrauben	-GDX, -GDE
310192	Montagewinkel 3/4" mit Schrauben	-GFX, -GFE
310194	NBR O-Ring 3/8"	-GDX, -GDE
310195	NBR O-Ring 3/4"	-GFX, -GFE
310196	FKM O-Ring 3/8"	-GDX, -GDE
310197	FKM O-Ring 3/4"	-GFX, -GFE
310202	Montageschlüssel	-GDX, -GDE
310203	Montageschlüssel	-GFX, -GFE



Standard-Montagewinkel

Bestellinformationen zu Filtergehäuse „Causa Typ Clear“

Beispiel: CLD-10-GDX = Causa Typ Clear CLD, Filterlänge 9 3/4", Filtertyp beidseitig offen, Anschlüsse G 3/8" Innengewinde, ohne Entlüftungsventil

Identcode	Für Filterlänge in inch	Endkappen- Konfiguration	Anschluss BSPT/ DIN ISO 228	Entlüftung	Maximaler Durchfluss H ₂ O (l/min)	Abmessungen				Gewicht kg
						A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	
CLD-05-GDX	4 7/8"	DO_	G 3/8"	ohne	19	187	118	40,5	32,7	0,6
CLD-05-GDE	4 7/8"	DO_	G 3/8"	mit Ventil	19	172	111	40,5	32,7	0,6
CLD-10-GDX	9 3/4"	DO_	G 3/8"	ohne	28	308	118	40,5	32,7	0,9
CLD-10-GDE	9 3/4"	DO_	G 3/8"	mit Ventil	28	308	118	40,5	32,7	0,9
CLD-10-GFX	9 3/4"	DO_	G 3/4"	ohne	38	321	133	57	60	1,3
CLD-10-GFE	9 3/4"	DO_	G 3/4"	mit Ventil	38	321	133	57	60	1,3



GIBECK ISO-GARD® FILTER

Hydrophobic bacterial/viral filters



AT A GLANCE

Iso-Gard filter,
Iso-Gard filter small

- filtration efficiency (99,9999 %)
- for tidal volumes of 150–1000 ml
- with CO₂ port
- small, compact, easy to handle
- available in straight and angled version
- choice for adults and children
- latex-free

Iso-Gard Filters are also available in several options with different Flex tubes.

PROTECT THE PATIENT, MEDICAL PERSONNEL AND VENTILATION EQUIPMENT FROM CONTAMINATION.

The high filtration efficiency (99.9999 %) of Teleflex Gibeck Iso-Gard filters has been certified by independent institutes who have carried out extensive tests.

The filters, available in two versions, named Iso-Gard filter and Iso-Gard filter small, comply with all the required quality standards. They are ideal for patient- and machine close application in anaesthesia and for machine close application in the ICU.

The Iso-Gard filters are extremely lightweight and easy to handle.



Thanks to the low dead space the Iso-Gard filter small is suitable for both children and adults.



Teleflex

PRODUCT INFORMATION

Gibek

ISO-GARD® FILTER		ISO-GARD® FILTER SMALL		
				
	ANGLED	STRAIGHT	ANGLED	STRAIGHT
Ref. sterile clean	18211 18212	19211 19212	18511 18512	19511 19512
Dead space	30 ml	26 ml	21 ml	20 ml
Weight	23 g	22 g	16 g	15 g
Connectors	22 M/15 F-15 M/22 F		22 M/15 F-15 M	
Medium	hydrophobic depth filter made of polypropylene, electrostatically charged		hydrophobic depth filter made of polypropylene, electrostatically charged	
Tidal volume	150–1000 ml		150–1000 ml	
Resistance to flow	at 60 l/min., 1.6 cm H ₂ O		at 30 l/min., 1.9 cm H ₂ O	
Bacterial efficiency	> 99.9999 %		> 99.9999 %	
Viral efficiency	> 99.999 %		> 99.999 %	
Qty (box/case)	250/25		200/50	

Aqua-Jet Venturi Düse 2000

Gebrauchsanleitung

Austauschbare Venturi für geringe und hohe Leistung

Stückliste:

1. Haupt-Venturi-Körper
2. Luftmischer Ball
3. Luftschlauch
4. Austauschbarer großer und kleiner Trichter

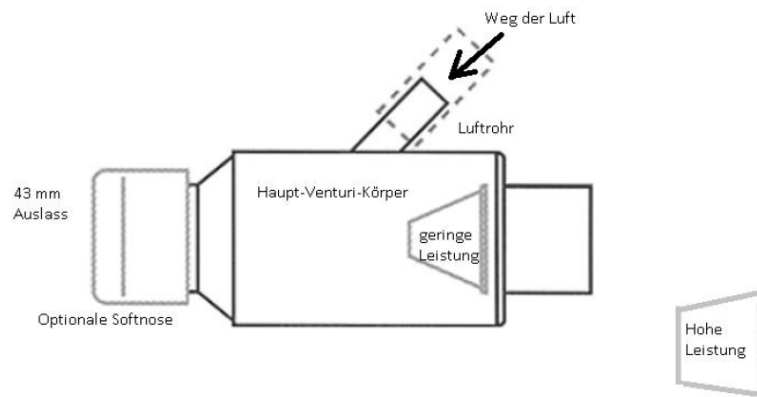
Gebrauchsanweisung:

Der Aqua-Jet Venturi darf innerhalb oder außerhalb des Teiches installiert werden. Dieses System funktioniert nur gepumpt, nicht in Schwerkraft. Der eingesetzte Aufsatz regelt, welche Leistung geliefert wird. Eine geringe Leistung, benötigt einen schmalen Aussatztrichter, eine hohe Leistung benötigt den großen Trichter.

Installation:

1. Den gewünschten Einsatztrichter einfach an der Rückseite einschieben.
2. Befestigen Sie den Luftschlauch für die Zuluft am Haupt-Venturi-Körper. Das Ende dieser Luftzufuhr muss oberhalb der Wasseroberfläche platziert werden.
3. Montieren Sie den Venturi in einem Wasserfluss entweder mit 1 ½" flexiblen Muffen, oder mittels einer Klebeverbindung.

Einbau innerhalb oder außerhalb des Teiches. Ebenso kann das Venturi in die Schlauch oder Rohrleitung eingebaut werden. Für die Montage gibt es beidseitig 50 mm Klebeverbindungen. Die optionale Softnose-Schutzkappe schützt die Fische vor Verletzungen.

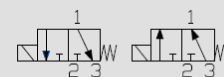


Durchflussmengen:

kleiner Aufsatz: bis ca. 4.500 l/h

großer Aufsatz: bis ca. 9.000 l/h

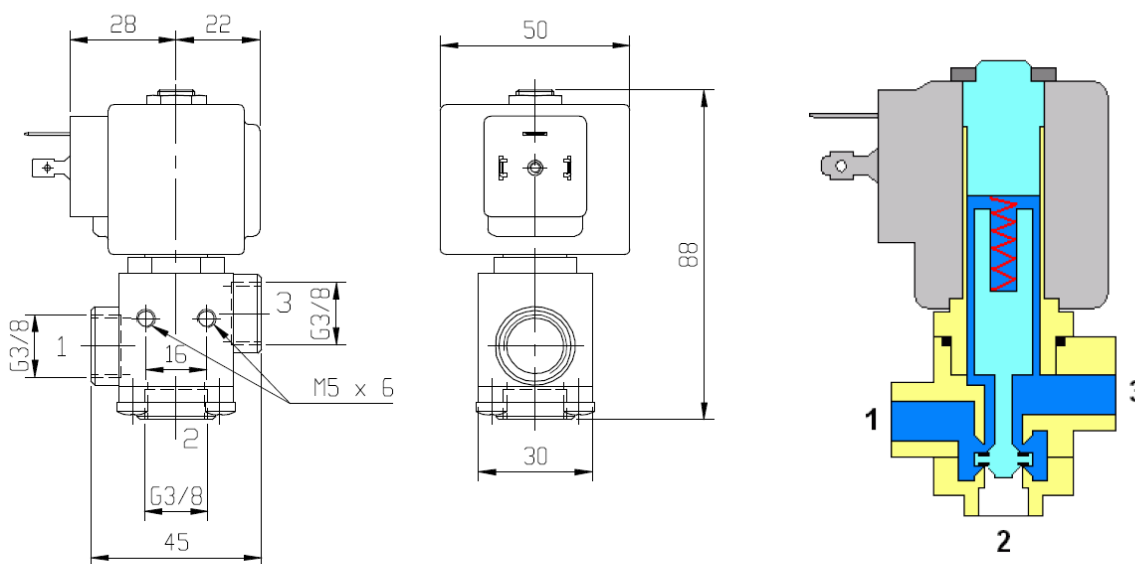
Max. Einbautiefe: 2 m



Ports	Orifice size [mm]	Kv [l/min]	Differential pressure [bar]		Material		Mass [kg]	Coil type	Model	Voltage	Power [W]	Order code
		water (p = 1 bar)	min	max	body	seal						
G3/8	13	28	0	0.3	Brass	FPM	0.79	TM35	D329	24 V DC	12	331763
					INOX	FPM	0.79	TM35	D329N	24 V DC	12	331757

FUNCTION:

- Fluid inlet on port 2; coil de-energised: path 1-3 open, 2-1 closed; energised: 2-1 open, 1-3 closed




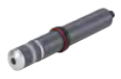



Armaturen für Analyse-Sonden

- Für viele verschiedene Arten von Anlagen und Anwendungen
- Große Auswahl an Sondenhaltern
- Allgemeine und pharmazeutische Anwendungen, Wasseraufbereitung, Lebensmittel- und Getränke-industrie

Im Datenblatt beschriebene Produktvarianten können eventuell von der Produktdarstellung und -beschreibung abweichen.

Kombinierbar mit

	Typ 8203 pH- und ORP-Sonden	►
	Typ 8221 Leitfähigkeitssensor für hygienische Applikationen	►
	Typ 8232 Chlor-Sensor	►
	Typ S020 Insertion Fitting für Durchfluss- oder Analyse-messungen	►

Typ-Beschreibung

Der Halter-Produktbereich für analytische 120 mm Sonden (pH/Redoxpotential (ORP)/Leitfähigkeit) deckt viele verschiedene Anwendungen ab:

- Allgemeine Verwendung
- Wasseraufbereitungslette
- Lebensmittel & Getränke
- Pharmazie / Biotechnologie.

Ein breiter Bereich von Prozessanschlüssen ist verfügbar für:

Allgemeine Halter eingebaut in eine Rohrleitung oder in einen Behälter.

Hygienische Halter für hygienische Anwendungen:

- 3-Stab-Halter, die einen guten Schutz der Sonde gewährleisten, ermöglichen eine einfache Reinigung. Wegen des Sanitär-Designs sind Dampfsterilisation, Autoklavierungen, CIP-Reinigungen möglich.
- Direkt geschweißte Halter sparen Platz und sind für den Einbau in Fermenter und für viele andere Anwendungen mit Tanks und Rohrleitungen geeignet. Dampfsterilisation, Autoklavierungen, CIP sind möglich.
- Die speziellen Halter für 2" Clamp-Anschluss oder für den DN50-Gewindeprozessanschluss genügen höchsten Anforderungen, wie beispielsweise in der CIP-Applikation. Ein Pt1000-Temperaturfühler ist optional verfügbar.
- Die 15°Ausführung mit 2" (DN50/40)-Anschluss passend für GEA Tuchenhagen VARINLINE-Prozessanschluss ermöglicht eine Positionierung der Sonde bezogen auf die Strömungsrichtung oder in vertikalen Rohren.

Ein spezieller Halter - die Analysemesskammer Typ 8200 - wurde entwickelt, um mit dem Chlorsensor Typ 8232 verwendet zu werden.

2. Produktversionen

2.1. Allgemeine Halter

G 2"-Anschluss



Dieser Halter ist stets mit Schutzstäben ausgestattet. Der Halter ist mit oder ohne Bohrung für einen Pt1000-Temperaturfühler/Erdungsstift erhältlich. Es ist für die Verwendung mit dem Insertion-Fitting Typ S020 vorgesehen. Detailliertere Informationen entnehmen Sie dem **Datenblatt Typ S020** ►.

Produktdetails	
Materialien	<ul style="list-style-type: none"> Gehäuse aus PVC oder Edelstahl (316L/1.4404) Dichtung aus FKM (EPDM optional)
Flüssigkeitstemperatur	Mit S020-Fitting aus: <ul style="list-style-type: none"> PVC: 0...+50 °C Edelstahl: -20...+130 °C
Flüssigkeitsdruck max.	Mit S020-Fitting aus: <ul style="list-style-type: none"> PVC: PN10 Edelstahl: PN16

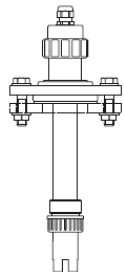
G 1"- oder Klebeanschluss



Dieser Halter hat keinen Schutzstab, ist aber mit oder ohne Bohrung für einen Pt1000-Tempersensor/Flüssigerder ausgestattet.

Produktdetails	
Materialien	<ul style="list-style-type: none"> Gehäuse aus PVC Dichtung aus FKM
Flüssigkeitstemperatur	0...+50 °C
Flüssigkeitsdruck max.	PN10

Taucharmatur mit Befestigungssatz



Diese aus mehreren Elementen bestehende Taucharmatur dient zur Montage einer pH-/ORP-Sonde an einem Tank. Siehe Kapitel „**Taucharmatur für pH-/ORP-Messungen für Tankneinbau**“ auf Seite 23 für weitere Informationen zu den verwendeten Elementen.

Produktdetails	
Materialien	<ul style="list-style-type: none"> Sensorarmatur aus PVDF Verlängerungsrohr aus PP Dichtung aus FKM (EPDM optional) Schrauben aus Edelstahl
Flüssigkeitstemperatur	0...+80 °C

2.2. Hygienische Halter

G 1¼"-Anschluss (28 oder 46 mm O-Ring-Position)



Produktdetails	
Materialien	<ul style="list-style-type: none"> Gehäuse aus Edelstahl (316L/1.4435) Dichtung aus EPDM
Flüssigkeitstemperatur	-10...+135 °C
Flüssigkeitsdruck max.	Max. 6 bar
Zertifikate	<ul style="list-style-type: none"> USP Class VI FDA

1½" Clamp-Anschluss (Ø 50,5 mm), kurze Eintauchtiefe

Produktdetails	
Materialien	<ul style="list-style-type: none"> Gehäuse aus Edelstahl (316L/1.4435) Dichtung aus EPDM
Flüssigkeitstemperatur	- 10...+ 135 °C
Flüssigkeitsdruck max.	Max. 6 bar
Zertifikate	FDA

1½" Clamp-Anschluss (Ø 50,5 mm), lange Eintauchtiefe

Produktdetails	
Materialien	<ul style="list-style-type: none"> Gehäuse aus Edelstahl (316L/1.4404) Dichtung aus FKM
Flüssigkeitstemperatur	- 10...+ 135 °C
Flüssigkeitsdruck max.	Max. 6 bar

2" Clamp-Anschluss (Ø 64 mm - nach ISO2852) oder für DN50-Gewindeprozessanschluss (nach SMS1145)

Produktdetails	
Materialien	<ul style="list-style-type: none"> Gehäuse aus Edelstahl (316L/1.4404) Dichtung aus EPDM
Flüssigkeitstemperatur	- 20...+ 140 °C
Flüssigkeitsdruck max.	PN16

2" (DN50/40)-Anschluss passend für GEA Tuchenhagen VARINLINE-Prozessanschluss

Produktdetails	
Materialien	<ul style="list-style-type: none"> Gehäuse aus Edelstahl (316L/1.4435) Dichtung aus EPDM
Flüssigkeitstemperatur	- 10...+ 135 °C
Flüssigkeitsdruck max.	Max. 6 bar
Zertifikate	FDA

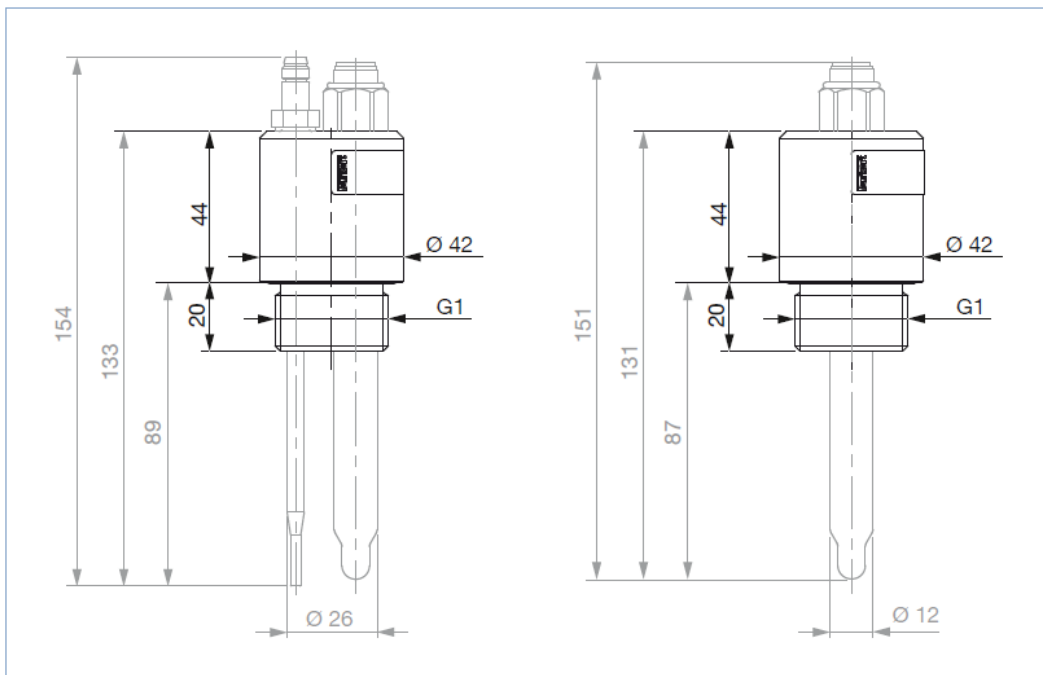
Direkter Schweißanschluss

Produktdetails	
Materialien	<ul style="list-style-type: none"> Gehäuse aus Edelstahl (316L/1.4435) Dichtung aus EPDM
Flüssigkeitstemperatur	- 10...+ 145 °C
Flüssigkeitsdruck max.	Max. 16 bar
Zertifikate	FDA

G 1"-Anschluss

Hinweis:

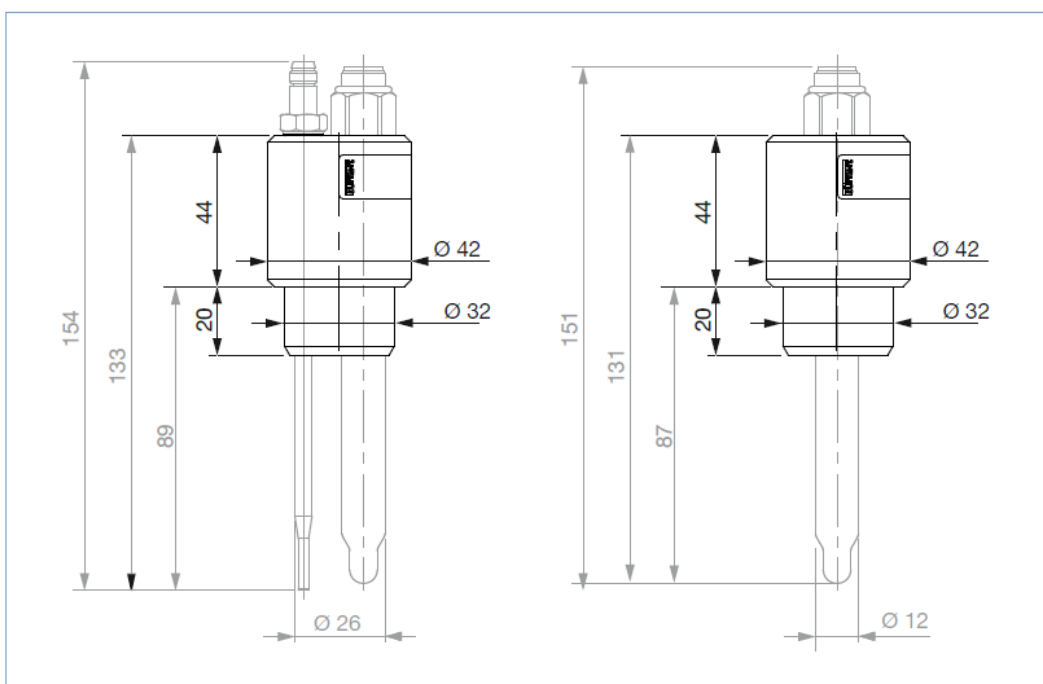
- Angaben in mm
- Mit Analysesonde und Pt1000-Temperaturfühler/Erdungsstift - muss separat bestellt werden
- Für Einbau in T-Fitting, PVC



Klebeanschluss

Hinweis:

- Angaben in mm
- Mit Analysesonde und Pt1000-Temperaturfühler/Erdungsstift - muss separat bestellt werden
- Für Einbau in T-Fitting, PVC

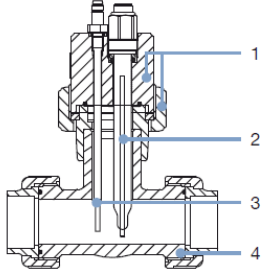


6. Produktinstallation

6.1. Installationshinweise

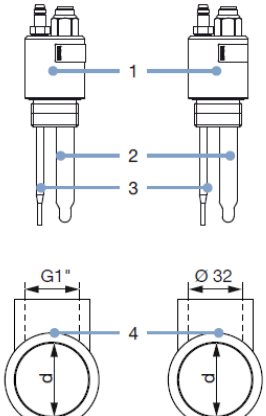
Allgemeine Sondenhalter mit G 2"-Anschluss für den Einbau in Bürkert Fitting Typ S020

Ein kompletter pH-/ORP-/Leitfähigkeitssensor besteht aus den folgenden Komponenten:

Installationsbeispiel	Nr.	Beschreibung
	1	Einem kompletten Sondenhalter Typ 8200 mit Mutter und Dichtungen
	2	Einer pH-/ORP-Sonde Typ 8203 oder einer Leitfähigkeitssonde Typ 8221 von 120 mm mit PG 13,5-Anschluss Siehe Datenblatt Typ 8203 ► oder Datenblatt Typ 8221 ►
	3	Einem Pt1000-Temperaturfühler/Erdungsstift (optional, falls erforderlich)
	4	Einem Bürkert Fitting Typ S020 (G 2"-Anschluss) Siehe Datenblatt Typ S020 ►

Allgemeine Sondenhalter mit G 1"- oder Klebeanschluss für den Einbau in T-Fitting

Ein kompletter pH-/ORP-/Leitfähigkeitssensor besteht aus den folgenden Komponenten:

Installationsbeispiel	Nr.	Beschreibung
	1	Einem Sondenhalter Typ 8200 mit G 1"-Außengewinde-Prozessanschluss oder Klebprozessanschluss
	2	Einer pH-/ORP-Sonde Typ 8203 oder einer Leitfähigkeitssonde Typ 8221 von 120 mm mit PG 13,5-Anschluss Siehe Datenblatt Typ 8203 ► oder Datenblatt Typ 8221 ►
	3	Einem Pt1000-Temperaturfühler/Erdungsstift (optional, falls erforderlich)
	4	Einem T-Fitting (mit G 1"-Innengewindeanschluss oder Ø 32 mm-Klebeanschluss am Sondenhalter)



Leitfähigkeitssensor für hygienische Applikationen

- Perfekt für anspruchsvolle Anwendungen in der Hygieneindustrie (CIP und SIP-kompatibel)
- Erweiterter Leitfähigkeitsbereich dank den verfügbaren Varianten
- Aufgrund Unterstützung der wichtigsten Prozessanschlüsse können Kundenwünsche individuell umgesetzt werden
- Passt perfekt zu dem Multifunktions Transmitter/Controller Typ 8619



Im Datenblatt beschriebene Produktvarianten können eventuell von der Produktdarstellung und -beschreibung abweichen.

Kombinierbar mit



Typ 8619
multiCELL - Multikanal-/Multifunktions-Transmitter/-Controller



Typ 8200
Armaturen für Leitfähigkeitssonden (mit PG 13.5-Gewindeanschluss)



Typ BBSf5
Clamp Stutzen, Klammern und Dichtungen - DIN 32676

Typ-Beschreibung

Die hygienischen Leitfähigkeitssonden 8221 werden für die Messung der elektrischen Leitfähigkeit in einem breiten Bereich von verschiedenen reinen oder konzentrierten Flüssigkeiten verwendet. Aufgrund des hygienischen und robusten Aufbaus sind diese Leitfähigkeitssonden für die Lebensmittel- und Pharmaindustrie sowie Biotechnologie und chemische Industrie geeignet.

Die Leitfähigkeitssonden basieren auf zwei unterschiedlichen Technologien:

- Sonden welche nach dem 2-Elektroden-Prinzip aufgebaut sind, eignen sich für Messungen in reinen Flüssigkeiten, insbesondere Reinstwasser. Verschmutzung beeinflusst die Messungen.
- Sonden welche nach dem 4-Elektroden-Prinzip aufgebaut sind verhindern Polarisierungseffekte und sind unempfindlich gegenüber Verschmutzung. Hierdurch wird eine ausgezeichnete Linearität über den gesamten Messbereich garantiert.

Ein Temperaturfühler (Pt1000) ist bei allen Versionen integriert.

Die Sonde muss mit dem multiCELL Transmitter/Controller Typ 8619 angeschlossen werden.

1. Allgemeine technische Daten

1.1. 4-Elektroden-Leitfähigkeitssonde

Produkteigenschaften		Messbereich: 0,1 µS/cm...500 mS/cm	Messbereich 1 µS/cm...500 mS/cm
Werkstoffe		Bitte stellen Sie sicher, dass die Materialien des Geräts mit dem Fluid kompatibel sind, welches Sie benutzen. Detailliertere Informationen entnehmen Sie dem Kapitel „4.1. Beständigkeitstabelle – Bürkert resistApp“ auf Seite 6.	
Elektrode	Edelstahl 1.4435/316L		
Gehäuse	PEEK (konform zu FDA - 21CFR 177.2415) Edelstahl 1.4435/316L (nicht für PG 13.5-Anschluss)		
Dichtung	EPDM (konform zu FDA - 21CFR 177.2600)		
Messbereich	0,1 µS/cm...500 mS/cm	1 µS/cm...500 mS/cm	
Temperatursensor	Pt1000		
Elektrische Daten			
Elektrischer Anschluss	VarioPin (VP 6.0)		
Leistungsdaten			
Technologie	4-Elektroden		
Linearität ^{1.)} (relativ)	± 0,5...5 %		
Zellkonstante ^{2.)}	0,147 cm ⁻¹	0,360 cm ⁻¹	
Oberflächenqualität	0,4 µm, electropoliert		
Mediendaten			
Flüssigkeitstemperatur	-20...+135 °C	-20...+150 °C	
Flüssigkeitsdruck	Max. 6 bar	Max. 20 bar für -20...+135 °C und max. 10 bar bei 150 °C	
Näheres zum Flüssigkeitsdruck finden Sie im Kapitel „6.2. Druck-Temperatur-Diagramm“ auf Seite 10.			
Zulassungen und Zertifikate			
Zertifikate		<ul style="list-style-type: none">• FDA-Konformitätserklärung (Nur für Ausführung mit PEEK-Gehäuse und EPDM-Dichtung)• ECR1935/2004 Erklärung• USP-Klasse-VI-Erklärung• Abnahmeprüfzeugnis 3.1• 2-Punkt Kalibrierzeugnis (auf Anfrage)• Werkzeugnis für Oberflächengüte (auf Anfrage)	
Normen			
Schutzart nach IEC/EN 60529	IP67, mit angeschlossenem Gerät, eingesteckte und verschraubte VarioPin-Buchse		
Richtlinie			
CE-Richtlinie	Die angewandten Normen, mit denen die Konformität mit den EU-Richtlinien nachgewiesen wird, sind in der EU-Baumusterprüfbescheinigung und/oder der EU-Konformitätserklärung nachzulesen (wenn anwendbar).		
Druckgeräterichtlinie	Gemäß Artikel 4, §1 der 2014/68/EU-Richtlinie Näheres zur Druckgeräterichtlinie finden Sie im Kapitel „3.2. Druckgeräterichtlinie“ auf Seite 6.		
Produktanschlüsse			
Prozessanschluss	In kurze oder lange Eintauchtiefe: 1½" Clampanschluss G 1¼"-Anschluss (auf Anfrage)	2" Clampanschluss 2" (DN50/40) Anschluss passend für GEA Tuchenhagen VARINLINE Prozessanschluss PG 13.5-Anschluss	
Umgebung und Installation			
Umgebungstemperatur	Lagerung: +4...+40 °C		

1.) Unsicherheiten von ±5 % können entstehen, wenn eine Zellkonstante über den ganzen Bereich verwendet wird. ±0,5 % Messabweichung können erzielt werden, wenn der Messwert der Kalibrierung nahe am Leitfähigkeitsmesswert der eingesetzten Lösung liegt.

2.) Nominale Zellkonstante. Jedes Produkt wird nach Bürkert interner Vorschrift gemessen. Die gemessene individuelle Zellkonstante wird in dem mit dem Produkt mitgelieferten Kalibrierprotokoll angegeben. Die Zellkonstante kann von der Einbausituation beeinflusst werden.

1.2. 2-Elektroden-Leitfähigkeitssonde

Produkteigenschaften		Messbereich: 0,05...20 µS/cm	Messbereich: 1...200 µS/cm
Werkstoffe			
Bitte stellen Sie sicher, dass die Materialien des Geräts mit dem Fluid kompatibel sind, welches Sie benutzen. Detailliertere Informationen entnehmen Sie dem Kapitel „4.1. Beständigkeitstabelle – Bürkert resistApp“ auf Seite 6.			
Elektrode	Edelstahl 316L		
Gehäuse	PEEK (konform zu FDA - 21CFR 177.2415)		
	Edelstahl 316L		
Dichtung	EPDM (konform zu FDA - 21CFR 177.2600)		
Messbereich	0,05...20 µS/cm	1...200 µS/cm	
Temperatursensor	Pt1000		
Reaktionszeit (t90)	60 Sek.	100 Sek.	
Elektrische Daten			
Elektrischer Anschluss	5-poliger M12-Stecker (männlich)		
Leistungsdaten			
Technologie	2-Elektroden		
Linearität ¹⁾ (relativ)	± 0,5...5 %		
Zellkonstante ²⁾	0,01 cm ⁻¹	0,1 cm ⁻¹	
Oberflächenqualität	0,4 µm, elektropoliert		
Mediendaten			
Flüssigkeitstemperatur	-20...+150 °C		
Flüssigkeitsdruck	PN16		
	Näheres zum Flüssigkeitsdruck finden Sie im Kapitel „6.2. Druck-Temperatur-Diagramm“ auf Seite 10.		
Zulassungen und Zertifikate			
Zertifikate			
	<ul style="list-style-type: none">FDA-Konformitätserklärung (Nur für Ausführung mit PEEK-Gehäuse und EPDM-Dichtung)Abnahmeprüfzeugnis 3.12-Punkt Kalibrierzeugnis (auf Anfrage)Werkszeugnis für Oberflächengüte (auf Anfrage)		
Normen			
Schutzart nach IEC/EN 60529	IP65, mit angeschlossenem Gerät, eingesteckte und verschraubte M12-Kabelbuchse (weiblich)		
Richtlinien			
CE-Richtlinie	Die angewandten Normen, mit denen die Konformität mit den EU-Richtlinien nachgewiesen wird, sind in der EU-Baumusterprüfbescheinigung und/oder der EU-Konformitätserklärung nachzulesen (wenn anwendbar).		
Druckgeräterichtlinie	Gemäß Artikel 4, §1 der 2014/68/EU-Richtlinie Näheres zur Druckgeräterichtlinie finden Sie im Kapitel „3.2. Druckgeräterichtlinie“ auf Seite 6.		
Produktanschlüsse			
Prozessanschluss	1½" Clampanschluss G 1-Anschluss G ¾-Anschluss NPT ¾-Anschluss		
Umgebung und Installation			
Umgebungstemperatur	Betrieb: -20...+150 °C Lagerung: -10...+60 °C		

1.) Unsicherheiten von ±5 % können entstehen, wenn eine Zellkonstante über den ganzen Bereich verwendet wird. ±0,5 % Messabweichung können erzielt werden, wenn der Messwert der Kalibrierung nahe am Leitfähigkeitsmesswert der eingesetzten Lösung liegt.

2.) Nominale Zellkonstante. Jedes Produkt wird nach Bürkert interner Vorschrift gemessen und die gemessene individuelle Zellkonstante wird in dem mit dem Produkt mitgelieferten Kalibrierprotokoll angegeben und auf dem Etikett, das am Produkt befestigt ist. Die Zellkonstante kann von der Einbausituation beeinflusst werden.

2. Produktversionen

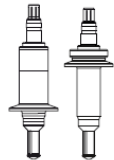
2.1. 4-Elektroden-Leitfähigkeitssonde

Sonden nach dem 4-Elektroden-Prinzip sind in zwei Elektrodenarchitekturen erhältlich:



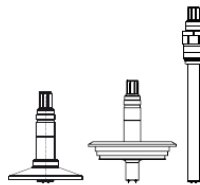
Die vier aktiven Elektroden sind seitlich am Umfang des Gehäuses angeordnet.

Produktdetails	
Messbereich	0,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$...500 mS/cm
Zellkonstante	0,147 cm^{-1}



Die vier aktiven Elektroden befinden sich an der Basis des Gehäuses. Zwei sind flach und die anderen beiden sind kegelförmig.

Produktdetails	
Messbereich	1 $\mu\text{S}/\text{cm}$...500 mS/cm
Zellkonstante	0,360 cm^{-1}



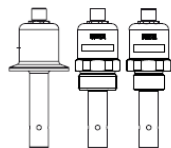
2.2. 2-Elektroden-Leitfähigkeitssonde

Sonden nach dem 2-Elektroden-Prinzip sind in zwei Elektrodenarchitekturen erhältlich:



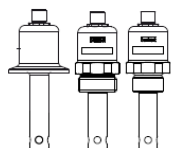
Das Loch befindet sich 19 mm von der Basis des Gehäuses entfernt. Der Elektrodenabstand ist klein und die zentrale Elektrode hat einen großen Querschnitt.

Produktdetails	
Messbereich	0,05...20 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Zellkonstante	0,01 cm^{-1}






Das Loch befindet sich 11 mm von der Basis des Gehäuses entfernt. Der Elektrodenabstand ist groß und die zentrale Elektrode hat einen kleinen Querschnitt.

Produktdetails	
Messbereich	1...200 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Zellkonstante	0,1 cm^{-1}



3. Zulassungen

3.1. Zertifikate

Zertifikate	Beschreibung
	FDA Die Ausführung mit dem Gehäuse aus den Werkstoffen PEEK und der Dichtung aus den Werkstoffen EPDM entsprechen in ihrer Zusammensetzung dem Code of Federal Regulations, veröffentlicht durch die FDA (Food and Drug Administration, USA).
	EC-Regulation 1935/2004/EC Die Ausführung mit dem Gehäuse aus den Werkstoffen PEEK und der Dichtung aus den Werkstoffen EPDM entsprechen in ihrer Zusammensetzung für die Anwendung mit Lebensmitteln und Getränken geeignet (nach EG-Verordnung 1935/2004/EC).
	USP Class VI Die Ausführung mit dem Gehäuse aus den Werkstoffen PEEK und der Dichtung aus den Werkstoffen EPDM sind nach USP-Klasse-VI zugelassen.

3.2. Druckgeräterichtlinie

Das Gerät ist unter folgenden Bedingungen mit dem Artikel 4, Absatz 1 der Druckgeräterichtlinie 2014/68/EU konform:

- Gerät für Anwendung in einer Rohrleitung (PS = maximal zulässiger Druck; DN = Nennweite der Rohrleitung).

Hinweis:

Die Angaben in der Tabelle sind unabhängig von der chemischen Verträglichkeit des Materials und der Flüssigkeit.

Art des Fluids	Bedingungen
Fluid der Gruppe 1, Artikel 4, Absatz 1.c.i	DN ≤ 25
Fluid der Gruppe 2, Artikel 4, Absatz 1.c.i	DN ≤ 32 oder PS*DN ≤ 1000
Fluid der Gruppe 1, Artikel 4, Absatz 1.c.ii	DN ≤ 25 oder PS*DN ≤ 2000
Fluid der Gruppe 2, Artikel 4, Absatz 1.c.ii	DN ≤ 200 oder PS ≤ 10 oder PS*DN ≤ 5000

- Gerät für Anwendung im Behälter (PS = maximal zulässiger Druck).

Hinweis:

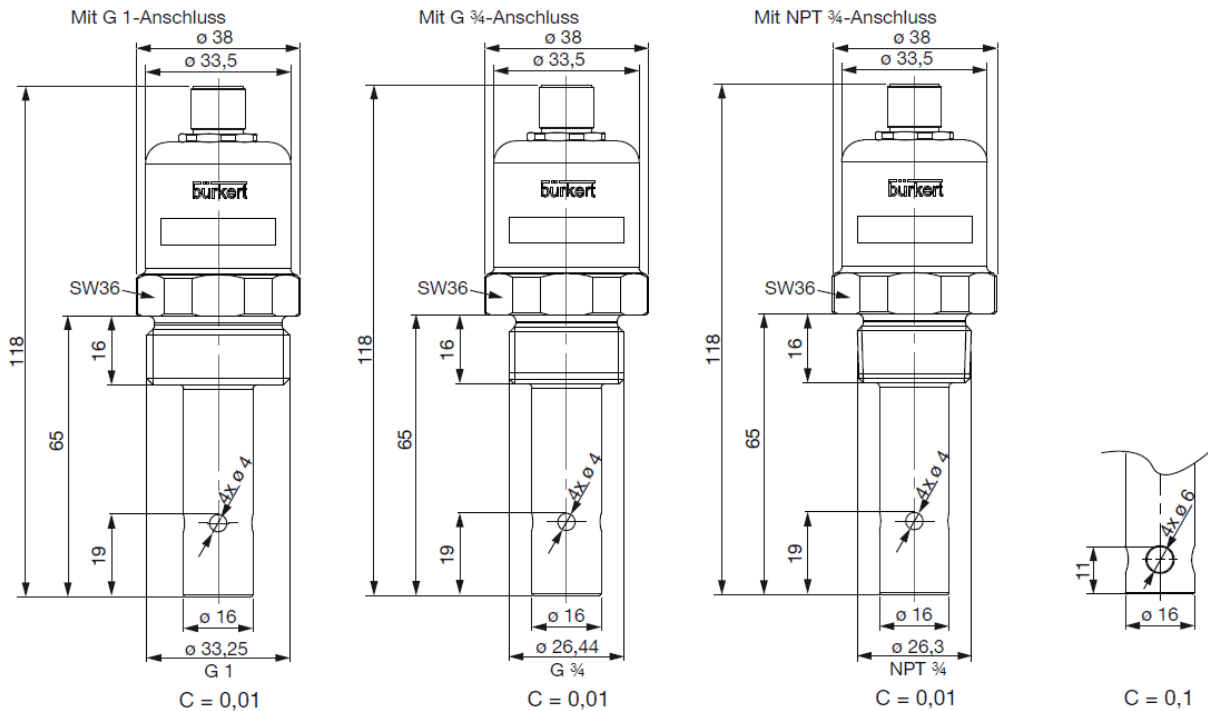
Die Angaben in der Tabelle sind unabhängig von der chemischen Verträglichkeit des Materials und der Flüssigkeit.

Art des Fluids	Bedingungen
Fluid der Gruppe 1, Artikel 4, Absatz 1.a.i	PS ≤ 200 bar
Fluid der Gruppe 2, Artikel 4, Absatz 1.a.i	PS ≤ 1000 bar
Fluid der Gruppe 1, Artikel 4, Absatz 1.a.ii	PS ≤ 500 bar
Fluid der Gruppe 2, Artikel 4, Absatz 1.a.ii	PS ≤ 1000 bar

Mit Prozessanschluss zum Anschrauben

Hinweis:

Angaben in mm

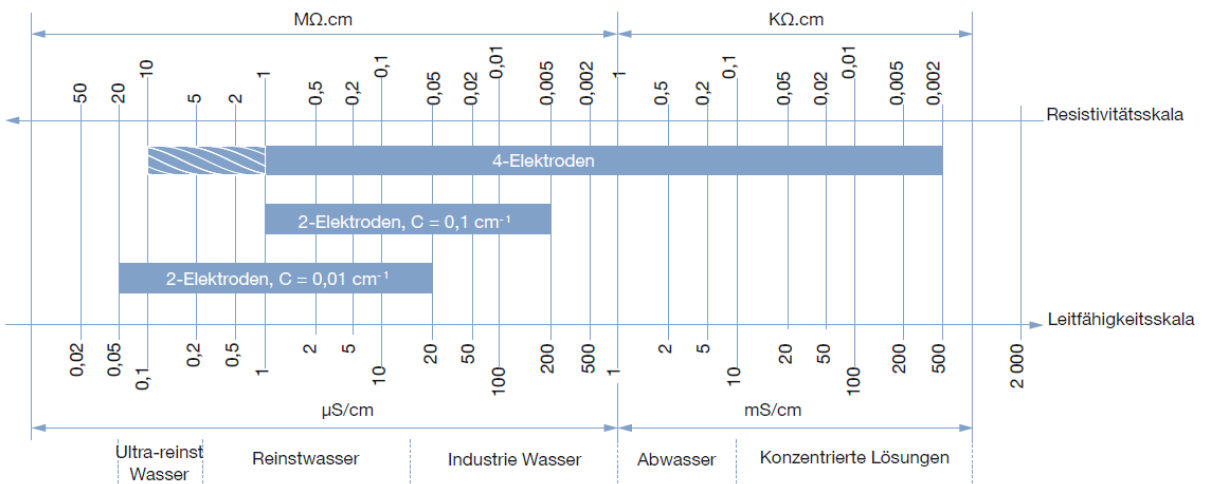


Die Leitfähigkeit einer Lösung wird definiert als die Fähigkeit elektrischen Strom zu leiten. Die Ladungsträger sind Ionen (z. B. gelöste Salze oder Säuren).

Im einfachsten Fall besteht die Messzelle aus zwei metallischen Elektroden, die in einem festen Abstand zueinander und mit bestimmter Fläche gesetzt sind. An die Elektroden wird eine vom Transmitter/Controller Typ 8619 bereit gestellte Wechselspannung angelegt. Der gemessene Strom ist eine direkte Funktion der Anzahl an Ionen, welche in der Lösung enthalten sind. Die Leitfähigkeit wird über das Ohmsche Gesetz berechnet.

Die 4-Elektroden-Sonde besteht aus zwei Stromelektroden und zwei Spannungselektroden. Über die 2 Stromelektroden wird ein elektrischer Strom in der Lösung angelegt. Über die 2 Spannungselektroden wird die entsprechende Spannung gemessen, welche über der Messlösung abfällt. Der Spannungsabfall hängt von der Leitfähigkeit der Lösung ab. Aufgrund dieses Messprinzips hat die 4-Elektroden-Sonde einen deutlich breiteren linearen Messbereich und ist unempfindlich gegenüber Verschmutzung und Polarisationserscheinungen durch Verwendung der passenden Frequenz des Wechselstroms.

Es existieren unzählige Typen von Leitfähigkeitssonden deren Messbereiche stark variieren. Für die Kompensation der Geometrie der Leitfähigkeitssonde auf den Messwert dient die sogenannte Zellkonstante: Leitfähigkeit [S/cm] = Messwert [S] x Zellkonstante [1/cm]. Die Zellkonstante ist entweder bekannt oder wird mit Leitfähigkeitsstandards ermittelt und muss vor der Messung im Messgerät eingegeben werden.

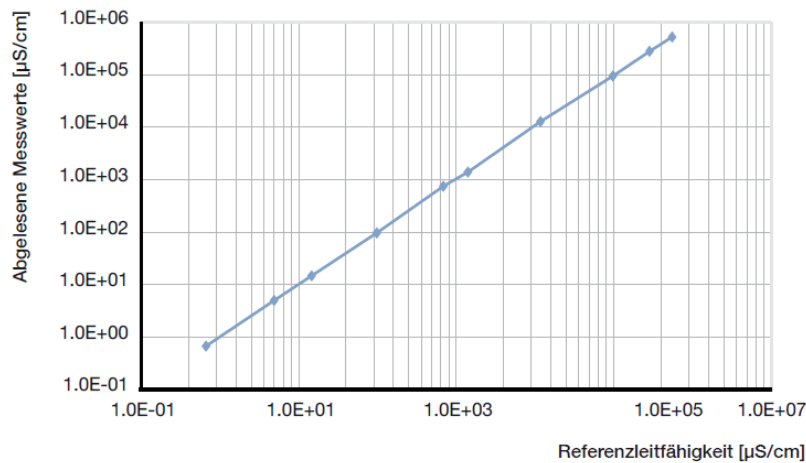


6. Leistungsbeschreibungen

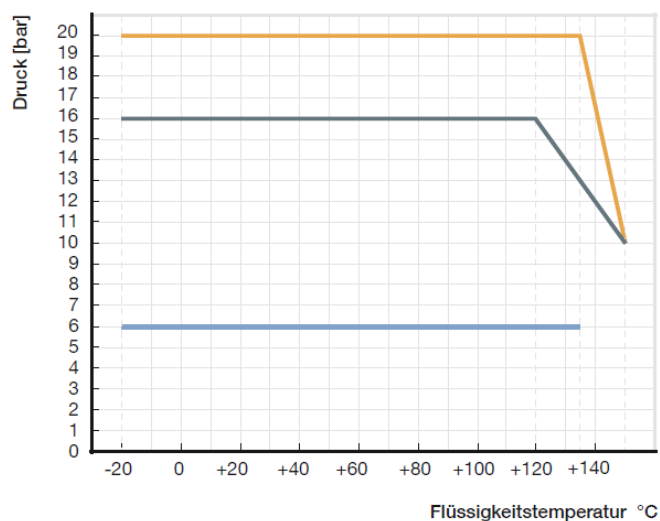
6.1. Linearitätsdiagramm

Hinweis:

Die nachfolgende Tabelle gilt ausschließlich für die Leitfähigkeitssonden welche nach dem 4-Elektroden-Prinzip aufgebaut sind.



6.2. Druck-Temperatur-Diagramm



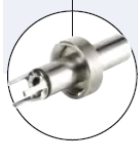
Anwendungsbereich für Leitfähigkeitssonde

- 2-Elektroden, 1½" Clamp-Anschluss-, G 1-, G ¾- oder NPT ¾-Ausführung mit M12-Stecker
- 4-Elektroden, G 1¼ und 1½" Clamp-Anschluss (kurz/lange)
- 4-Elektroden, 2" Clamp-Anschluss, 2" (DN50/40) passend für GEA Tüchenhagen VARINLINE Geräten und PG 13,5 Anschluss

pH- und ORP-Sonden



Typ 8203 kombinierbar mit



Typ 8200
Sondenhalter



Typ 8200
Sondenhalter zur Verwendung mit Typ S020 Fitting



Typ 8619
multiCELL
Transmitter/Controller



Typ 8202
ELEMENT pH/Redox-
potential- Messgerät



Typ 8202
ELEMENT neutrino pH/Redox-
potential- Messgerät

- Für viele verschiedene Arten von Anlagen und Anwendungen
- Große Auswahl an Sonden für breites Sortiment an Haltern
- Für Rohrgrößen von DN15 bis DN200 verwendbar

Das pH-Wert oder Redoxpotential Messgerät von Bürkert ist ein modular aufgebautes Gerät für die Messung:

- des pH-Wertes in sauberen oder schmutzigen oder Sulfide oder Proteine enthaltenden Flüssigkeiten
- oder des Redoxpotentials in sauberen oder schmutzigen oder Sulfide oder Proteine enthaltenden oder solchen Flüssigkeiten, die eine geringe Leitfähigkeiten, aufweisen.

Die Sonden vom Typ 8203 sind in verschiedenen Modellen verfügbar:

- für pH
 - Typ PLASTRODE pH 120 mm
 - Typ FLATRODE pH 120 mm
 - Typ LOGOTRODE pH 120 mm
 - Typ UNITRODE PLUS pH 120 mm
 - Typ CERATRODE pH 120 mm
 - Typ FERMTRODE VP pH 120 mm
- für Redoxpotential
 - Typ FLATRODE ORP 120 mm
 - Typ LOGOTRODE ORP 120 mm
 - Typ UNITRODE PLUS ORP 120 mm

Allgemeine Daten

Messbereich

Bürkert pH-Sonde
Bürkert Redoxpotential-Sonde

0... 14 pH
- 2000 mV... + 2000 mV

Mediumstemperatur

Die Temperaturgrenzen hängen auch von der eingesteckten Sonde ab (siehe auch das zugehörige Handbuch und technische Daten auf der nächsten Seite). Wenn die für den Halter und die eingesteckte Sonde angegebenen Temperaturbereiche unterschiedlich sind, dann gilt der jeweils eingeschränktere Bereich.

Mediendruck

Die Druckgrenzen hängen auch von der eingesteckten Sonde ab (siehe auch das zugehörige Handbuch und technische Daten auf der nächsten Seite). Wenn die für den Halter und die eingesteckte Sonde angegebenen Druckbereiche unterschiedlich sind, dann gilt der jeweils eingeschränktere Bereich.

Temperaturkompensation (Option für pH-Messung)

Automatisch (integrierter Pt100 oder Pt1000) oder manuelle Kompensation - Referenztemperatur 25 °C

Elektrischer Anschluss

Koaxial geschirmtes Kabel mit pH/Redoxpotentialstecker und 4-Leiterkabel für Pt1000/Erdungsstift

Elektrische Daten

Ausgang

Analogsignal, zum Anschluss an das ELEMENT- oder ELEMENT neutrino- pH/Redoxpotential- Messgerät Typ 8202 oder an den multiCELL Transmitter/Controller Typ 8619

Umgebung

Umgebungstemperatur

Die Temperaturgrenzen hängen auch von der eingesteckten Sonde ab.
Für weitere Einzelheiten stehen die jeweils zugehörigen Handbuch und technische Daten auf der nächsten Seite zur Verfügung

Spezifische technische Daten der pH-Wert-Sonden

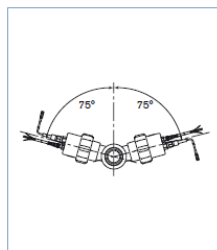
Sonde	PLASTRODE pH 120	FLATRODE pH 120	LOGOTRODE pH 120
Medien	- kostengünstige Elektrode für Trinkwasser, Aquarium, Schwimmbad...	- verschmutzte Medien (Viskose Fluids, Fluids mit kleinen Feststoffen und geringen Anteilen, Farben, Kosmetika, Lebensmittel)	- saubere Medien (Trinkwasser, Kühlmedien, Aquarium, Schwimmbad...)
Messbereich	0... 14 pH	0... 14 pH	0... 14 pH
Mediumsdruck	0 - 6 bar	0 - 6 bar	0 - 6 bar
Mediumstemperatur	- 10 °C bis + 40 °C	0 °C bis + 80 °C	- 10 °C bis + 60 °C
Umgebungstemperatur			
Betrieb	0 °C bis + 60 °C	0 °C bis + 60 °C	0 °C bis + 60 °C
Lagerung	4 °C bis + 30 °C	4 °C bis + 30 °C	4 °C bis + 30 °C
Min. Leitfähigkeit	50 µS/cm	50 µS/cm	2 µS/cm
Max. Druck bei max. Temperatur	6 bar	4 bar	6 bar
Diaphragma-Anzahl	1	1	1
Diaphragma	"single pore™"	Ringförmig und konzentrisch, aus High Density Polyethylen	"single pore™"
Referenzelektrolyt	Polymer	Acrylamide-Gel KNO ₃ /3,5M KCl-AgCl	Polymer
EHEDG	Nein	Nein	Nein
Temperatursensor	Nein	Nein	Nein
Elektrischer Stecker	S7/S8	S7/S8	S7/S8

Funktionsprinzip

Die pH- oder Redoxpotential- Sonde ist aufgebaut mit einer Glasmembran, die eine in Abhängigkeit vom pH-Wert oder Redoxpotential variable Empfindlichkeit aufweist. Diese muss im gewählten Sondenhalter Typ 8200 eingeschraubt und zum Beispiel an einen Transmitter/Controller 8619 angeschlossen werden. Nur die Sonden mit einem elektrischen Anschlußstecker S7/S8 können auch in ein pH/Redoxpotential ELEMENT Messgerät 8202 (standard oder neutrino Ausführung) eingeschraubt werden. Die Sonde muss vor dem Einbau des kompletten Gerätes in die Leitung mit einer Bürkert Pufferlösung kalibriert werden.

- ▶ Wenn eine pH-Sonde in eine Lösung getaucht wird, bildet sich aufgrund der Wasserstoffionen (H⁺) ein Potenzialunterschied zwischen der Glasmembran und der Lösung. Dieser im Vergleich zu einer Bezugs elektrode gemessene Potenzialunterschied ist direkt proportional zum pH-Wert (59,16 mV je pH-Einheit bei 25 °C).
Die Kalibrierung eines pH-Messgerätes kann über 1-Punkt (Offset bei pH7) oder 2-Punkte (Offset bei pH 7 und Span bei pH 4 oder pH 10) erfolgen.
- ▶ Wenn eine Redoxpotential-Sonde in eine Lösung getaucht wird, kommt es zu einem Austausch von Ionen mit oxidierender oder reduzierender Wirkung in einem Elektrolyten. Die Spannung, die sich daraus ergibt, ist das Redoxpotential. Das Redoxpotential-Messgerät kann nur in 1-Punkt (Offset) kalibriert werden.

Leitungseinbau des Sensors

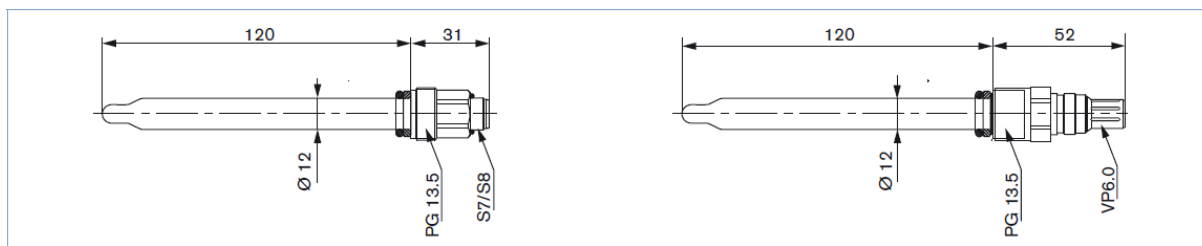


Das Gerät wird in einer beliebigen Position mit einem Winkel von max. 75° abweichend von der Senkrechten in eine horizontal verlaufende Rohrleitung eingebaut. Bitte wählen Sie zuerst den zum Gerätetyp, Werkstoff, Temperaturbereich und Druckbereich passenden Fitting aus. Nachdem das Gerät mit dem 8619 (pH/Redoxpotential) multiCELL Transmitter/Controller verbunden und das Gerät kalibriert ist, installieren Sie sorgfältig die komplette Einheit im Fitting.

Um zuverlässig messen zu können, müssen Luftblasen vermieden werden. **Stellen Sie sicher, dass die Sonde permanent und vollständig im Durchflussbereich sitzt und damit mit Flüssigkeit benetzt ist.**

Die Sonde muss ständig in die Messflüssigkeit eingetaucht sein, um sie vor dem Austrocknen zu schützen. Das Gerät muss vor ständiger Wärmeeinstrahlung und anderen Umwelteinflüssen geschützt werden, wie zum Beispiel vor direkter Sonneneinstrahlung.

Abmessungen [mm]



Bestell-Hinweis für kompletten pH/Redoxpotential-Sensor

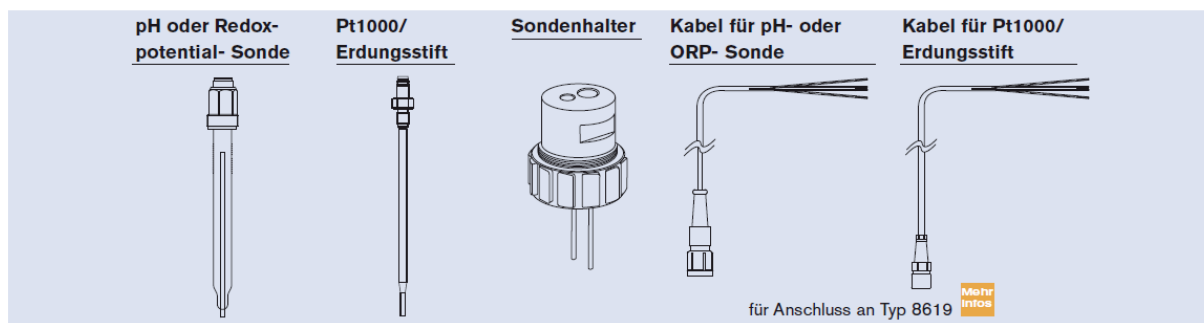
Eine komplette pH/Redoxpotential-Messstelle besteht aus einer pH oder Redoxpotential-Sonde Typ 8203, einem Pt1000/Erdungsstift (Option), einem Sondenhalter Typ 8200 mit Dichtung, einem abgeschirmten Kabel für pH-/Redox-Messung, einem abgeschirmten Kabel (Option) für Pt1000/Erdungsstift.

Zur Auswahl eines kompletten Gerätes sind folgende Angaben erforderlich:

- **Artikel-Nr.** des gewünschte Sondenhalters **Typ 8200** (siehe separate Datenblätter)
- **Artikel-Nr.** der gewünschte pH oder Redoxpotential-Sonde **Typ 8203** (siehe Bestell-Tabelle, S. 5)
- **Artikel-Nr.** des Pt1000/Erdungsstiftes wenn nötig (siehe Bestell-Tabelle, S. 5)
- **Artikel-Nr.** des abgeschirmten Kabels für pH-/Redox (siehe Bestell-Tabelle, S. 5)
- **Artikel-Nr.** des abgeschirmten Kabels für Pt1000/Erdungsstift wenn nötig (siehe Bestell-Tabelle, S. 5)

→ Sie müssen die Komponenten separat bestellen.

Klicken Sie bitte auf die Box "Mehr Infos". Sie werden dann zu unserer Webseite für dieses Produkt weitergeleitet, wo Sie das Datenblatt herunterladen können.



Kapazitiver Füllstandssensor T/LL130

Das Modell der Serie T/LL130 ist zum Einsatz in Wasser, Diesel, Kraftstoff oder Ölen entwickelt worden und kann auf Widerstands-, PWM oder Spannungsausgangssignal vorkalibriert werden. Hierdurch können z.B. Standard-Anzeigeeinstrumente oder auch SPS-Anlagen angesteuert werden. Der Sensor hat keine beweglichen Teile und kann in beliebigen Winkeln montiert werden, solange er die gesamte Tiefe des Tanks abdeckt. Weiterhin ist eine manuelle Selbstkalibrierung, über einen am Kopf angebrachten Taster, möglich.



Technische Daten

Abmessungen

Länge des Sensorstabs: Min 200mm, Max 2000mm

Elektrische Daten

Versorgungsspannung:	7-35Vdc	Versorgungsstrom:	ca. 15mA@12VDC
Betriebsfrequenz:	8.3kHz	Ausgangssignal:	10-180 bzw. 240-33 Ohm
Impedanz:	100 - 10,000 Ohm		0 bis 5 V
Varnsignal:	ON bei 1/8	Linearität:	1%
Anschluss:	4-poliger Delphi Packard Stecker	Genauigkeit:	±2.0% der Eintauchtiefe bei 20°C

Konstruktionwerkstoffe

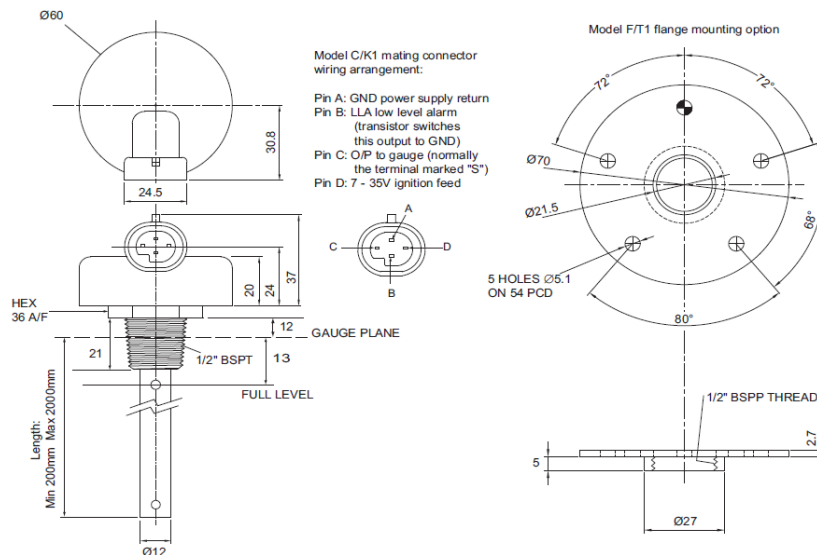
Gehäuse:	30% glass filled Nylon 6	Interner Sensorstab:	Edelstahl mit PTFE Überzug
Sensorstab:	Edelstahl 316	Dichtungen:	Fluorsilikonkautschuk
Interne Isolatoren:	30% glass filled Nylon 6		

Arten von Flüssigkeiten

mit Konstruktionswerkstoffen kompatible Flüssigkeiten

Umgebungsbedingungen

Temperatur	- Betrieb: -40°C bis +85°C	Abdichtung:	IP67
	- Lagerung: -55°C bis +100°C	Schock:	50g 6.3ms
Vibration:	BS EN 60068-2-64:1993 (15.3grms)	Max Tankdruck:	2.0 bar [29 psi]

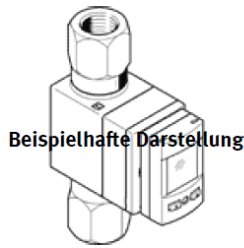


Modell	Output	Manuelle Kalibr.
T/LL130	Widerstand	Nein
T/LL131	Spannung	Nein
T/LL132	PWM	Nein
T/LL133	Widerstand	Ja
T/LL134	Spannung	Ja
T/LL135	PWM	Ja

Durchflusssensor SFAW-

Teilenummer: 8022000

FESTO



Beispielhafte Darstellung

Datenblatt

Gesamtdatenblatt – Einzelwerte hängen von Ihrer Konfiguration ab.

Merkmal	Wert
Zulassung	RCM Mark c UL us - Listed (OL)
CE-Zeichen (siehe Konformitätserklärung)	nach EU-EMV-Richtlinie nach EU-RoHS-RL
KC-Zeichen	KC-EMV
Werkstoffhinweis	RoHS konform
Messgröße	Durchfluss Temperatur
Strömungsrichtung	unidirektional P1 -> P2
Messverfahren	Durchfluss: Vortex Temperatur: PT1000
Betriebsdruck	0 ... 12 bar
Hinweis zum Betriebsdruck	max. 12 bar bei 40°C max. 6 bar bei 100°C
Betriebsmedium	Flüssige Medien Wasser neutrale Flüssigkeiten
Hinweis zum Betriebs- und Steuermedium	Die Medienverträglichkeit zu den medienberührenden Stoffen muss gewährleistet sein
Mediumstemperatur	0 ... 90 °C
Umgebungstemperatur	0 ... 50 °C
Nenntemperatur	23 °C
Genauigkeit Durchflusswert	±2 %FS für Durchfluss ≤ 50 %FS ±3 % o.m.v. für Durchfluss ≥ 50 %FS
Genauigkeit Temperatur in ± °C	2 °C
Wiederholgenauigkeit Durchflusswert	< ±0,5 %FS für Durchfluss ≤ 50 %FS < ±1 % o.m.v. für Durchfluss ≥ 50 %FS
Temperaturkoeffizient Spanne in ± %FS/K	typ. ±0,05%FS/K
Schaltausgang	2 x PNP oder 2 x NPN umschaltbar
Schaltfunktion	Fenster-Komparator Schwellwert-Komparator frei programmierbar
Schaltelementfunktion	Öffner/Schließer umschaltbar
Max. Ausgangsstrom	100 mA
Analogausgang	0 - 10 V 4 - 20 mA 1 - 5 V
Max. Lastwiderstand Stromausgang	500 Ohm
Min. Lastwiderstand Spannungsausgang	15 kOhm
Kurzschlussfestigkeit	ja
Überlastfestigkeit	vorhanden
Protokoll	IO-Link
IO-Link, Protokoll	Device V 1.1

Merkmal	Wert
IO-Link, Profil	Smart sensor profile
IO-Link, Funktionsklassen	Binärer Daten Kanal (BDC) Prozess Daten Variable (PDV) Identifikation Diagnose Teach channel
IO-Link, Kommunikationsmodus	COM2 (38,4 kBaud)
IO-Link, SIO-Mode Unterstützung	ja
IO-Link, Porttyp	A
IO-Link, Servicedateninhalt IN	32 bit Volumenmesswert
IO-Link, minimale Zykluszeit	5 ms
IO-Link, Datenspeicher benötigt	0,5 Kilobyte
Betriebsspannungsbereich DC	18 ... 30 V
Verpolungsschutz	für alle elektrischen Anschlüsse
Elektrischer Anschluss	Stecker gerade M12x1 5-polig A-Codiert
Max. Leitungslänge	20 m bei IO-Link Betrieb 30 m
Einbaulage	beliebig
Fluidanschluss	Innengewinde 1/2 NPT Innengewinde 3/4 NPT Innengewinde 1 NPT Innengewinde G1/2 Innengewinde G3/4 Innengewinde G1 Innengewinde Rc1/2 Innengewinde Rc3/4 Innengewinde Rc1 Klemmanschluss DIN 32676 DN15 Klemmanschluss DIN 32676 DN20 Schlauchtülle 13 mm Schlauchtülle 19 mm Kundenseitiger Anschluss
Werkstoff Gehäuse	PA-verstärkt
vom Medium berührte Werkstoffe	EPDM (perox.) ETFE Edelstahl PA6T/6I verstärkt
Darstellbare Einheit(en)	US gal US gal/min cft cft/min l l/h l/min m3 °C °F
Schutzart	IP65
Korrosionsbeständigkeitsklasse KBK	3 - starke Korrosionsbeanspruchung



- ▶ Der kleinste Ozongenerator der Welt
- ▶ Kann auf einer Rohrlanze aufgeschraubt werden
- ▶ Ozonerzeugung direkt am „point of use“
- ▶ Verbesserte Lebensdauer
- ▶ Die Ozon-Produktionsrate kann durch Änderung der Stromstärke binnen Sekunden angepaßt werden
- ▶ Bereits bei Trinkwasserqualität einsetzbar

Kompakte Ozonerzeugereinheit zur Integration in diverse Geräte, Apparate- und Anlagenkonzepte

Typ	1.CH+	2.CH+	3.CH+	4.Ch+
Ausführung mit:	1 Zellherz	2 Zellherzen	3 Zellherzen	4 Zellherzen
Art.-Nr.:	182 614	182 615	182 616	182 617
Ozonleistung [mg O ₃ /h]	max. 15	max. 30	max. 45	max. 60
Ozonkonzentration in der Gasphase:	max. 10 Gew. %			
Elektrolysespannung:	ca. 6 VDC	ca. 12 VDC	ca. 18 VDC	ca. 24 VDC
Maximale Spannung:	12 VDC	18 VDC	24 VDC	24 VDC
Elektrolysestrom:	0–200 mA	0–180 mA	0–180 mA	0–150 mA
Maximale Stromstärke:	200 mA	180 mA	180 mA	150 mA
Erkennung Kurzschluß:	< 0,7–18 VDC (einstellbar)			
Erkennung Zelle verbraucht:	Zellenspannung auf Maximum und Stromstärke weniger als 40–90 % (einstellbar) des Sollwerts			
Systemdruck:	16 bar (PN 16), höhere Drücke auf Anfrage			
Gewicht:	ca. 45 g	ca. 46 g	ca. 47 g	ca. 48 g
Medienberührende Korpuswerkstoffe:	1.4404 / 3.7035 / PTFE / POM			

PURION 500 zur Wasser-Desinfektion

...zeichnet sich durch eine außerordentlich hohe Desinfektionsleistung bei kompakter Bauweise und geringem Energieverbrauch aus. Sie ist nach geltenden Gesetzen, Normen und Richtlinien ausgeführt.



Die Anlage PURION 500 ist in elektropolierten Edelstahl ausgeführt.

Sie findet Anwendung bei der Trinkwasserentkeimung für Durchflussleistungen bis 400 l/h und einer Transmission (oder auch Trübung) des Wassers von mindestens 90% pro cm. Weitere Einsatzgebiete sind unter anderem Aquarien bis zu einer Größe von 4.000 l bei stetiger Umwälzung.

Die eingesetzten UV-Strahler zeichnen sich durch lange Lebensdauer, hohe Desinfektionsleistung und einen geringen Energieverbrauch aus.

Wahlweise kann die Stromversorgung mit 230 V/50 Hz, 110 V/60 Hz, 12 V DC oder auch 24 V DC erfolgen.

Die kompakte Bauweise erlaubt eine einfache und werkzeuglose Lampenentnahme und den Lampenwechsel zum Beispiel am Ende der Strahler-Nutzungsdauer. Zu Reinigungszwecken kann das Quarztauchrohr ebenfalls ohne Werkzeug demontiert bzw. montiert werden.

Das zu behandelnde Wasser fließt durch das Gehäuse und wird gezielt am Quarztauchrohr, in dem die Lampe montiert ist, entlang geführt. Die geringe Wasserfilmstärke von nur 7,5 mm, gemeint ist hier der Abstand zwischen UV-Lichtaustritt an der Quarzrohroberfläche und der Gehäuseinnenwand, garantiert eine optimale Durchdringung des Mediums durch das UV-Licht.

Hersteller	PURION® GmbH
Typ	PURION 500
Durchsatz	400 l/h Trinkwasser
UVC-Transmission	90% T ₁ cm
Wassertemperatur	2°C bis 40°C
Reaktor	Edelstahl 1.4571
Anschluss Außengewinde	R 1/2"
Dichtung	FPM
Maße (L x Ø in mm)	320 x 42
Flanschabstand	255 mm
Gewicht	2,2 Kg
Strahlernutzungsdauer	10.000 h
Anzahl der Strahler	1
Dosis	400 J/m ²
Temperatur max	40°C
Betriebsdruck max.	10 bar
Gehäuseschutzart	IP 65
elektr. Anschluss	230 V/50 Hz oder 110-240 V 50/60 Hz 12 V DC oder 24 V DC
Leistung	10 W
Absicherung	10 A

Diese UV-Anlage findet ihre Anwendung bei:

Trinkwasser	•
Klimawasser	•
Permeatdesinfektion	•
Pools	
Aquarien	•
Fischteiche	
Kläranlagen-Ablaufwasser	
Pharmazie	
Gewächshäuser	
Brauchwasser	

Vorteile

- kein Chemikalieneintrag in das zu entkeimende Wasser
- keine Geruchs- und Geschmacksbeeinträchtigung
- wartungsarmer Betrieb
- niedrige Betriebskosten

PURION Montageset SINGLE 1

...zeichnet sich durch kompakte Bauweise und einfache Handhabung aus.



Hersteller	PURION® GmbH
Typ	PURION Montageset SINGLE 1
Material Schellen	Edelstahl mit EPDM Feuerverzinkt (optional) ²
Ø Schellen	42 (2 x)
Wandhalterung Schaltkasten	4 Wandlaschen (ABS)

Das PURION Montageset SINGLE 1 ermöglicht eine einfache und platzsparende Wandmontage für PURION Anlagen mit einem Reaktor.

Die beiden Schellen werden in der Wand verschraubt. Der Reaktor wird anschließend an den beiden Schellen befestigt.

Der Schaltkasten wird mittels der mitgelieferten Wandlaschen Einfach an die Wand geschraubt. Eine Öffnung des Schaltkastens und ggf. Aufhebung des IP Gehäuseschutzgrades (IP 65) ist nicht erforderlich.

Das PURION Montageset SINGLE 1 beinhaltet sämtliches notwendiges Installationsmaterial.¹

Schellen und Stockschrauben können wahlweise in Edelstahl oder Zink ausgeführt sein.²

Anwendung des PURION Montageset SINGLE 1:³

PURION 400	PURION 2500
PURION 500	
PURION 1000	
PURION 2000	

Vorteile

- Stabile und einfache Installation
- keine Öffnung des Schaltkastens (Erhaltung IP-Schutz und Garantie)
- preiswerte Anschaffung

¹ Diverse Schrauben, Dübel, Stockschrauben.

² In feuchter und insbesondere salzhaltiger Umgebung ist zur Vermeidung von Intermetallkorrosion dringend die Ausführung in Edelstahl zu empfehlen. ³ Jeweils für alle Konfigurationen.

Rohrschelle aus PP mit Clip

Verfügbarkeit: sofort

- Werkstoff: PP
- Farbe: Schwarz

Bitte beachten Sie die MINDESTBESTELLMENGEN (Packinginhalt) im Warenkorb.



Maß	MBM	Gewicht	VE	Art.-Nr.	Preis
40 mm	10	0,100	1	0110954	8,93 €
50 mm	10	0,100	1	0110955	9,55 €
63 mm	10	0,100	1	0110956	12,32 €
75 mm	1	0,100	1	0110957	2,09 €
90 mm	1	0,100	1	0110958	2,68 €
110 mm	1	0,100	1	0110959	3,08 €
125 mm	1	0,100	1	0110960	6,70 €
140 mm	1	0,100	1	0110961	7,60 €
160 mm	1	0,100	1	0110962	8,75 €

Rohrschelle aus PP

Verfügbarkeit: sofort

- Werkstoff: PP
- Farbe: Schwarz

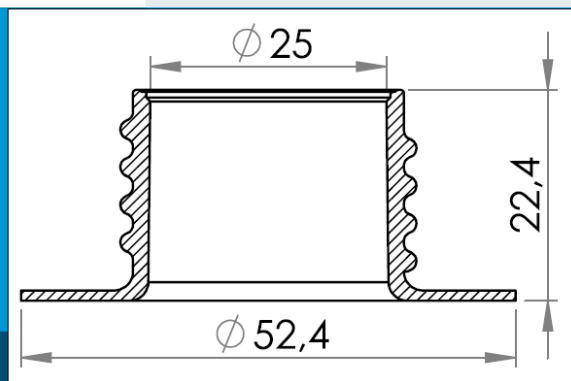
Bitte beachten Sie die MINDESTBESTELLMENGEN (Packinginhalt) im Warenkorb.



Maß	MBM	Gewicht	VE	Art.-Nr.	Preis
16 mm	10	0,100	1	0110950	3,26 €
20 mm	10	0,100	1	0110951	3,88 €
25 mm	10	0,100	1	0110952	4,25 €
32 mm	10	0,100	1	0110953	5,30 €

03-730 Kunststoff Schraubstutzen, 25 mm

25 mm Kunststoff Schraubflansch. HF/Ultraschall-schweißbar.



Nennmaße in mm

HF/Ultraschall-schweißbarer 25 mm Kunststoff Schraubstutzen.

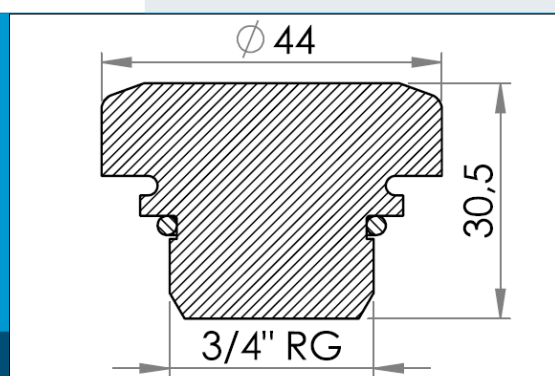
Auch als PELD und Carmo's einmalige PVC/PUR erhältlich, die optimale Bindung mit PUR-basierten Materialien und Stoffen sichert. Für Hochfrequenzschweißen optimiert.

Materiale:	PVC, PELD, PVC/PUR
Verpackung:	1 x 1.000
Passt mit	03-935, 03-936, 03-561

Sie interessieren sich für andere Farben oder Materialien? Rufen Sie uns an und fordern Sie ein Angebot !

03-374 Kunststoff Überdruckventil, 0.07 bar mit G 3/4" Rohrgewinde

ABS Überdruckventil mit G3/4" Gewinde. Ein Niederprofilüberdruckventil, das öffnet wenn ein voreingestellter Druck erreicht wird. Nominaler Öffnungsdruck 0,07 Bar.



Nennmaße in mm

ABS Kunststoff Überdruckventil für 03-601, G 3/4" Gewinde. Ein Niederprofilüberdruckventil, das öffnet wenn ein voreingestellter Druck erreicht wird.

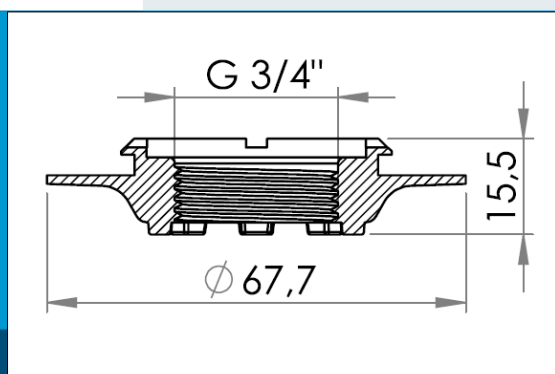
Kunststoff Überdruckventile eignen sich für gefüllte Objekte, die gegen Bruch gesichert sein müssen, z. B. Bojen, in denen der Druck unter ansteigenden Temperaturen erhöht wird. Nominaler Öffnungsdruck 0,07 Bar.

Materiale:	ABS+Metal
Verpackung:	1 x 250
Passt mit	03-601,03-960,03-711
Verwandte Produkte:	03-601,03-274,03-284,03-474

Sie interessieren sich für andere Farben oder Materialien? Rufen Sie uns an und fordern Sie ein Angebot !

03-601 Kunststoff Gewindeflansch mit Innengewinde G 3/4"

HF/Ultraschall-schweißbarer Kunststoffflansch mit eingebautem G3/4" Gewinde. Kann auf PVC und PUR geschweißt werden. Industrie Standardgewinde, kompatibel mit eine Reihe von Carmo Beschlägen und auch die anderer Hersteller.



Nennmaße in mm

HF/Ultraschall-schweißbarer Kunststoff Gewindeflansch mit eingebautem G3/4" Gewinde. Bildet die Grundlage für Carmo's modulares Ventilsystem von Druckventilen, Überdruckventilen und Vakuumventilen.

Die Kunststoff Gewindeflansch Wird vermehrt in maritimen Strukturen wie Flösse, Boote, Bojen und Spiere, sowie in Wassertanks, Ballastbehälter etc. verwendet. Kleine Ausbuchtungen an der Unterseite des Flansches stellen sicher, dass er bei Vakuumanwendung nicht an Material festklebt oder den Luftfluss unterbricht.

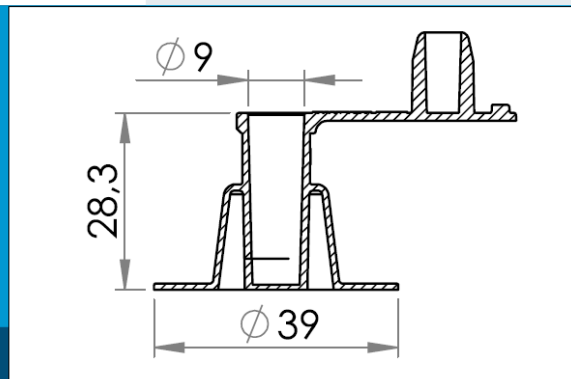
Auch als Carmo's einmalige PVC/PUR Mischung erhältlich, die optimale Bindung mit PUR-basierten Materialien sichert. Für HF Schweißen optimiert.

Materiale:	PVC/PUR, PVC
Verpackung:	1 x 750
Passt mit	03-199,03-274,03-284,03-374,03-474,03-645,03-711,03-714,03-315
Verwandte Produkte:	03-274,03-374,03-474,03-606

Sie interessieren sich für andere Farben oder Materialien? Rufen Sie uns an und fordern Sie ein Angebot !

03-329 Kunststoff Rückschlagventil mit Stöpsel, 9mm

HF/Ultraschall-schweißbares Rückschlagventil mit Stöpsel.



Nennmaße in mm

Das Kunststoff Rückschlagventil mit 9 mm Bohrung und mit Rückschlagfunktion ist für HF Schweißen optimiert..

Typische Anwendungsbereiche des Kunststoff Rückschlagventils sind: Schlafsäcke, Schlauchboote, Luftmatratzen, Wasserbälle und andere aufblasbare Produkte.

Dieses Produkt ersetzt	03-165
Materiale:	PVC/PUR, PVC
Verpackung:	1 x 2.000
Verwandte Produkte:	03-325, 03-327, 03-309

Sie interessieren sich für andere Farben oder Materialien? Rufen Sie uns an und fordern Sie ein Angebot !

HCVU1212B Rückschlag-Ventil mit 12mm Steckverbindung

Artikelnummer: IVR100305



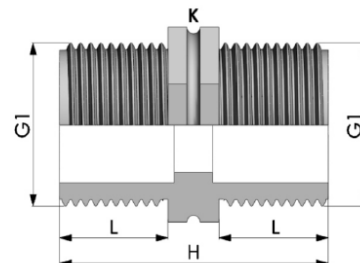
- Steckverbindung von 4 bis 12mm
- Öffnungsdruck nur 0,02bar
- Betriebstemperatur max. 65°C (max. 90°C für 5min)
- Material POM, Edelstahl sowie Dichtung aus EPDM
- Kleine Baugröße und beliebige Einbaulage
- Druckfestigkeit 20 bar (bis 8mm), 16 bar (bis 10mm), 14bar (12mm)
- DVGW W270, KTW, WRAS, NSF und ACS

Die Rückschlagventile sind speziell für die Verwendung mit Trinkwasser entwickelt worden. Der integrierte Federmechanismus verhindert den Rückfluss des Wassers entgegen der Fließrichtung. Ein Pfeil auf dem Rückschlag-Ventil zeigt die Fließrichtung an. Die Rückschlagventile sind absolut dicht und können in beliebiger Einbaulage verwendet werden. Trotz der kleinen Baugröße haben sie hervorragende Durchflusseigenschaften.

Varianten:	ØD	ØP	L	B	Gewicht
HCVU0404B	4mm	13,2mm	44,4mm	14,7mm	6,1g
HCVU0606B	6mm	15,5mm	45,5mm	16,1mm	7,4g
HCVU0808B	8mm	17,6mm	48,6mm	17,5mm	10,0g
HCVU1010B	10mm	20,0mm	57,8mm	19,4mm	14,5g
HCVU1212B	12mm	23,6mm	67,5mm	23,9mm	22,1g

PP Doppelnippel 2fach Aussengewinde

P-104



Alle Maßangaben in Millimeter, Gewichtsangaben in Gramm.

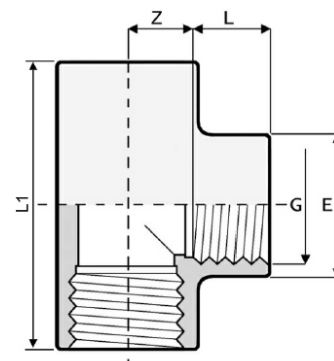
Für die fotografische Darstellung verwenden wir eine Artikelgröße sowie Studiolicht. Die Abbildungen, technischen Daten, Maße und Ausführungen sind unverbindlich. Wir behalten uns jederzeit Änderung ohne Ankündigung vor.

Die Nutzmaße sind definiert bzw. verstärkt dargestellt bzw. ergeben sich aus der Artikelbezeichnung. Weitere Maße dienen ausschließlich der Darstellungsunterstützung. Bei Zweckentfremdung bitten wir dies zu beachten.

ArtikelNr.	Variante	G1	H	K	L	Gewicht	Preis
PF018	1" einseitiger Dichtring	1" (33,25mm)	47,5	36	17	15	0,49 €*
PF015	1 1/4"	1 1/4" (41,91mm)	57,5	46	20	33	0,50 €*
PF0104.000.050	1 1/2"	1 1/2" (47,80mm)	57,5	54	20	40	0,68 €*
PF0104.000.063	2"	2" (59,61mm)	65,5	64	24	68	1,01 €*
PF012	1/2"	1/2" (20,96mm)	38	24	15,5	7	0,27 €*
PF013	3/4"	3/4" (26,44mm)	39	30	16	9	0,30 €*
PF014	1"	1" (33,25mm)	45	36	18,5	19	0,33 €*

PVC-U T-Stück 90°, 3fach Innengewinde

A-505



Alle Maßangaben in Millimeter, Gewichtsangaben in Gramm.

Für die fotografische Darstellung verwenden wir eine Artikelgröße sowie Studiolicht. Die Abbildungen, technischen Daten, Maße und Ausführungen sind unverbindlich. Wir behalten uns jederzeit Änderung ohne Ankündigung vor.

Die Nutzmaße sind definiert bzw. verstärkt dargestellt bzw. ergeben sich aus der Artikelbezeichnung. Weitere Maße dienen ausschließlich der Darstellungsunterstützung. Bei Zweckentfremdung bitten wir dies zu beachten.

ArtikelNr.	Variante	DN	E	G	L	L1	Z	PN	Gewicht	Preis
A-505-16	3/8"	10	23	3/8" (16,66mm)	11,4		11,6	10	15	0,93 €* 1,00 €
A-505-20	1/2"	15	27	1/2" (20,96mm)	17	54	11	10	24	0,76 €* 0,80 €
A-505-25	3/4"	20	35	3/4" (26,44mm)	16,3		16,7	10	40	0,93 €* 1,00 €
A-505-32	1"	25	43	1" (33,25mm)	19		20	10	67	1,16 €* 1,20 €
A-505-40	1 1/4"	32	61	1 1/4" (41,91mm)	21,5		25,5	10	117	1,51 €* 1,60 €
A-505-50	1 1/2"	40	61	1 1/2" (47,80mm)	21,5		35,5	10	285	2,28 €* 2,40 €
A-505-63	2"	50	75	2" (59,61mm)	25,5		45,5	10	424	3,41 €* 3,60 €
A-505-75	2 1/2"	65	89	2 1/2" (75,18mm)	30,5		53	10	630	8,04 €* 8,40 €
A-505-90	3"	80	106	3" (87,88mm)	33,5		65	10	1188	10,17 €* 10,80 €
A-505-110	4"	100	129	4" (113,03mm)	39,5		79	10	1454	17,80 €* 18,40 €

Kunststoff-Kugelhähne

Kugelhähne aus PP, PVDF, PFA

Werkstoffe: Gehäuse und Kugel: PP, PVDF, PFA, Dichtungen: FKM
Temperaturbereich: PP: +5°C bis max. +90°C, PVDF: -40°C bis max. +140°C, PFA: -40°C bis max. +180°C
Druckstufe: PN 10 bei 20°C. Bitte beachten Sie den Drucknutzungsgrad (bei Bedarf bitte anfordern).

★★★★★

2-Wege Hähne

Typ	Typ	Typ	Gewinde	Einbau- länge	DN	Zubehör
PP	PVDF	PFA				Halteklemmen
KH 142 PP	KH 142 PVDF	KH 142 PFA	G 1/4"	65	4	KKKH 14
KH 382 PP	KH 382 PVDF	KH 382 PFA	G 3/8"	74	8	KKKH 38
KH 122 PP	KH 122 PVDF	KH 122 PFA	G 1/2"	100	10	KKKH 12



3-Wege Hähne mit L-Bohrung, horizontal & vertikal

Typ horizontal	Typ vertikal	Gewinde	Einbau- länge	DN	Zubehör
PP	PP				Halteklemmen
KH 143 H PP	KH 143 V PP	G 1/4"	65	4	KKKH 14
KH 383 H PP	---	G 3/8"	74	8	KKKH 38
KH 123 H PP	---	G 1/2"	100	10	KKKH 12



Halteklemmen für Kunststoffkugelhähne

Achtung: Bestellen Sie bitte die benötigte Menge je nach Bauart des Kugelhahns, z.B. bei einem 3-Wege Kugelhahn benötigen Sie 3 Stück Halteklemmen usw.

Typ	für Kunststoff-Kugelhähne
KKKH 14	G 1/4"
KKKH 38	G 3/8"
KKKH 12	G 1/2"



Kunststoff- verschraubungen ab Seite 110	Gewindetüllen ab Seite 120	PVC-Hähne ab Seite 524	Mini-Kugelhähne ab Seite 502
Steckanschlüsse für Flüssigkeiten & Le- bensmittel ab Seite 82	Selbstabsperrende Verschraubungen und Verbindungen ab Seite 64	PU-, PA-, PTFE- und PE-Schläuche ab Seite 368	Edelstahl- Kugelhähne ab Seite 498

Alle Angaben verstehen sich als unverbindliche Richtwerte! Für nicht schriftlich bestätigte Datenauswahl übernehmen wir keine Haftung. Druckangaben beziehen sich, soweit nicht anders angegeben, auf Flüssigkeiten der Gruppe II bei +20°C.

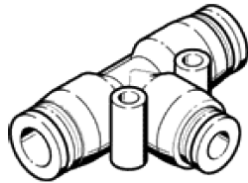
T-Steckverbindung QST-12-8

Teilenummer: 130615

★ Kernprogramm

reduzierend.

FESTO



Datenblatt

Merkmal	Wert
Baugröße	Standard
Nennweite	5,1 mm
Einbaulage	beliebig
Gebindegröße	10
Konstruktiver Aufbau	Push-Pull-Prinzip
Betriebsdruck kompletter Temperaturbereich	-0,95 ... 6 bar
Temperaturabhängiger Betriebsdruck	-0,95 ... 14 bar
Maritime Klassifizierung	siehe Zertifikat
Betriebsmedium	Druckluft nach ISO 8573-1:2010 [7:::] Wasser gemäß Herstellererklärung unter www.festo.com
Hinweis zum Betriebs- und Steuermedium	Geölter Betrieb möglich
Korrosionsbeständigkeitsklasse KBK	1 - niedrige Korrosionsbeanspruchung
Umgebungstemperatur	-10 ... 80 °C
Produktgewicht	32 g
Anzahl Abgänge	2
Anzahl Zuleitungen	1
Pneumatischer Anschluss 1	für Schlauch Außendurchmesser 12 mm
Pneumatischer Anschluss 2	für Schlauch Außendurchmesser 8 mm
Farbe Lösering	blau
Werkstoffhinweis	RoHS konform
Werkstoff Gehäuse	PBT
Werkstoff Lösering	POM
Werkstoff Schlauchdichtung	NBR
Werkstoff Schlauchklemmsegment	hochlegierter Stahl rostfrei

T-Steckverbindung CQT-12

Teilenummer: 177687

FESTO

für hohen Durchfluss.



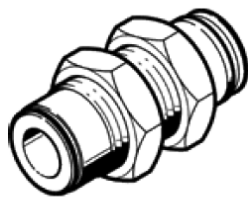
Datenblatt

Merkmal	Wert
Nennweite	8,65 mm
Einbaulage	beliebig
Gebindegröße	1
Konstruktiver Aufbau	Push-Pull-Prinzip
Betriebsdruck kompletter Temperaturbereich	-0,95 ... 7 bar
Temperaturabhängiger Betriebsdruck	-0,95 ... 15 bar
Betriebsmedium	Druckluft nach ISO 8573-1:2010 [7:::]
Hinweis zum Betriebs- und Steuermedium	Geölter Betrieb möglich (im weiteren Betrieb erforderlich)
Korrosionsbeständigkeitsklasse KBK	2 - mäßige Korrosionsbeanspruchung
Lebensmitteltauglichkeit	siehe erweiterte Werkstoffinformation
Umgebungstemperatur	-25 ... 70 °C
Maritime Klassifizierung	siehe Zertifikat
Produktgewicht	26 g
Anzahl Abgänge	2
Anzahl Zuleitungen	1
Pneumatischer Anschluss 1	für Rohr-/Schlauch Außendurchmesser 12 mm
Pneumatischer Anschluss 2	für Rohr oder Schlauch mit Außendurchmesser 12 mm
Werkstoffhinweis	LABS-haltige Stoffe enthalten RoHS konform
Werkstoff Gehäuse	POM
Werkstoff Lösering	POM
Werkstoff Schlauchklemmsegment	hochlegierter Stahl rostfrei

Schott-Steckverbindung QSS-12

Teilenummer: 153161
★ Kernprogramm

FESTO



Datenblatt

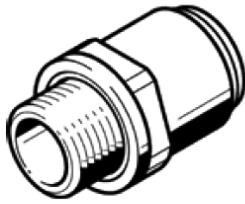
Merkmal	Wert
Baugröße	Standard
Nennweite	11 mm
Einbaulage	beliebig
Gebindegröße	10
Konstruktiver Aufbau	Push-Pull-Prinzip
Betriebsdruck kompletter Temperaturbereich	-0,95 ... 6 bar
Temperaturabhängiger Betriebsdruck	-0,95 ... 14 bar
Maritime Klassifizierung	siehe Zertifikat
Betriebsmedium	Druckluft nach ISO 8573-1:2010 [7:-:-] Wasser gemäß Herstellererklärung unter www.festo.com
Hinweis zum Betriebs- und Steuermedium	Geölter Betrieb möglich
Korrosionsbeständigkeitsklasse KBK	1 - niedrige Korrosionsbeanspruchung
Umgebungstemperatur	-10 ... 80 °C
Produktgewicht	52 g
Pneumatischer Anschluss 1	für Schlauch Außendurchmesser 12 mm
Pneumatischer Anschluss 2	für Schlauch Außendurchmesser 12 mm
Farbe Lösering	blau
Werkstoffhinweis	RoHS konform
Werkstoff Gehäuse	Messing vernickelt
Werkstoff Lösering	POM
Werkstoff Schlauchdichtung	NBR
Werkstoff Schlauchklemmsegment	hochlegierter Stahl rostfrei

Steckverschraubung CQ-1/2-12

Teilenummer: 177683

FESTO

für hohen Durchfluss.



Datenblatt

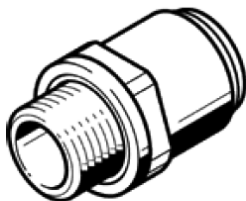
Merkmal	Wert
Nennweite	8,65 mm
Dichtungsart am Einschraubzapfen	Dichtring
Einbaulage	beliebig
Gebindegröße	1
Konstruktiver Aufbau	Push-Pull-Prinzip
Betriebsdruck kompletter Temperaturbereich	-0,95 ... 7 bar
Temperaturabhängiger Betriebsdruck	-0,95 ... 15 bar
Maritime Klassifizierung	siehe Zertifikat
Betriebsmedium	Druckluft nach ISO 8573-1:2010 [7:-:-]
Hinweis zum Betriebs- und Steuermedium	Geölter Betrieb möglich (im weiteren Betrieb erforderlich)
Korrosionsbeständigkeitsklasse KBK	2 - mäßige Korrosionsbeanspruchung
Lebensmitteltauglichkeit	siehe erweiterte Werkstoffinformation
Umgebungstemperatur	-25 ... 70 °C
Nenn-Anziehdrehmoment	2,5 Nm
Toleranz zum Nenn-Anziehdrehmoment	± 10 %
Produktgewicht	12 g
Pneumatischer Anschluss 1	Außengewinde G1/2
Pneumatischer Anschluss 2	für Rohr oder Schlauch mit Außendurchmesser 12 mm
Werkstoffhinweis	LABS-haltige Stoffe enthalten RoHS konform
Werkstoff Gehäuse	POM
Werkstoff Lösering	POM
Werkstoff Schlauchklemmsegment	hochlegierter Stahl rostfrei

Steckverschraubung CQ-3/8-12

Teilenummer: 177682

FESTO

für hohen Durchfluss.



Datenblatt

Merkmal	Wert
Nennweite	8,65 mm
Dichtungsart am Einschraubzapfen	Dichtring
Einbaulage	beliebig
Gebindegröße	1
Konstruktiver Aufbau	Push-Pull-Prinzip
Betriebsdruck kompletter Temperaturbereich	-0,95 ... 7 bar
Temperaturabhängiger Betriebsdruck	-0,95 ... 15 bar
Betriebsmedium	Druckluft nach ISO 8573-1:2010 [7:::]
Hinweis zum Betriebs- und Steuermedium	Geölter Betrieb möglich (im weiteren Betrieb erforderlich)
Korrosionsbeständigkeitsklasse KBK	2 - mäßige Korrosionsbeanspruchung
Lebensmitteltauglichkeit	siehe erweiterte Werkstoffinformation
Umgebungstemperatur	-25 ... 70 °C
Maritime Klassifizierung	siehe Zertifikat
Nenn-Anziehdrehmoment	2,5 Nm
Toleranz zum Nenn-Anziehdrehmoment	± 10 %
Produktgewicht	8 g
Pneumatischer Anschluss 1	Außengewinde G3/8
Pneumatischer Anschluss 2	für Rohr oder Schlauch mit Außendurchmesser 12 mm
Werkstoffhinweis	LABS-haltige Stoffe enthalten RoHS konform
Werkstoff Gehäuse	POM
Werkstoff Lösering	POM
Werkstoff Schlauchklemmsegment	hochlegierter Stahl rostfrei

Steckverschraubung NPQR-DK-G14-Q8

Teilenummer: 8085665

FESTO



Datenblatt

Merkmal	Wert
Baugröße	Standard
Nennweite	6,3 mm
Dichtungsart am Einschraubzapfen	Dichtring
Einbaulage	beliebig
Gebindegröße	1
Konstruktiver Aufbau	Push-Pull-Prinzip
Betriebsdruck kompletter Temperaturbereich	-0,95 ... 16 bar
Betriebsmedium	Druckluft nach ISO 8573-1:2010 [7:-:-] Wasser gemäß Herstellererklärung unter www.festo.com
Hinweis zum Betriebs- und Steuermedium	Geölter Betrieb möglich
Korrosionsbeständigkeitsklasse KBK	4 - besonders starke Korrosionsbeanspruchung
Umgebungstemperatur	-20 ... 150 °C
Nenn-Anziehdrehmoment	7,5 Nm
Toleranz zum Nenn-Anziehdrehmoment	± 20 %
Produktgewicht	14,4 g
Pneumatischer Anschluss 1	Außengewinde G1/4
Pneumatischer Anschluss 2	für Schlauch Außendurchmesser 8 mm
Werkstoffhinweis	RoHS konform
Werkstoff Gehäuse	hochlegierter Stahl rostfrei
Werkstoff Lösering	hochlegierter Stahl rostfrei
Werkstoff O-Ring	FPM
Werkstoff Schlauchdichtung	FPM
Werkstoff Schlauchklemmsegment	hochlegierter Stahl rostfrei

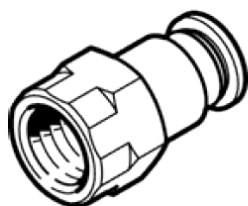
Steckverschraubung QSF-1/2-12-B

Teilenummer: 190653

★ Kernprogramm

Innengewinde mit Außensechskant.

FESTO



Datenblatt

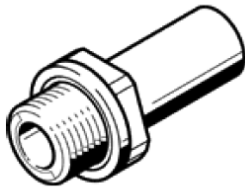
Merkmal	Wert
Baugröße	Standard
Nennweite	11 mm
Dichtungsart am Einschraubzapfen	Beschichtung
Einbaulage	beliebig
Gebindegröße	1
Konstruktiver Aufbau	Push-Pull-Prinzip
Betriebsdruck kompletter Temperaturbereich	-0,95 ... 6 bar
Temperaturabhängiger Betriebsdruck	-0,95 ... 14 bar
Maritime Klassifizierung	siehe Zertifikat
Betriebsmedium	Druckluft nach ISO 8573-1:2010 [7:::] Wasser gemäß Herstellererklärung unter www.festo.com
Hinweis zum Betriebs- und Steuermedium	Geölter Betrieb möglich
Korrosionsbeständigkeitsklasse KBK	1 - niedrige Korrosionsbeanspruchung
Umgebungstemperatur	-10 ... 80 °C
Produktgewicht	56 g
Pneumatischer Anschluss 1	Innengewinde G1/2
Pneumatischer Anschluss 2	für Schlauch Außendurchmesser 12 mm
Farbe Lösering	blau
Werkstoffhinweis	RoHS konform
Werkstoff Gehäuse	Messing vernickelt
Werkstoff Lösering	POM
Werkstoff Schlauchdichtung	NBR
Werkstoff Schlauchklemmsegment	hochlegierter Stahl rostfrei

Steckverschraubung CQ-3/8-12H

Teilenummer: 177705

FESTO

für hohen Durchfluss.



Datenblatt

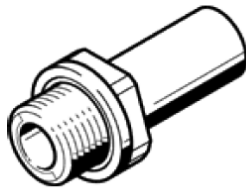
Merkmal	Wert
Nennweite	8,65 mm
Dichtungsart am Einschraubzapfen	Dichtring
Einbaulage	beliebig
Gebindegröße	1
Konstruktiver Aufbau	Push-Pull-Prinzip
Betriebsdruck kompletter Temperaturbereich	-0,95 ... 7 bar
Temperaturabhängiger Betriebsdruck	-0,95 ... 15 bar
Maritime Klassifizierung	siehe Zertifikat
Betriebsmedium	Druckluft nach ISO 8573-1:2010 [7:::]
Hinweis zum Betriebs- und Steuermedium	Geölter Betrieb möglich (im weiteren Betrieb erforderlich)
Korrosionsbeständigkeitsklasse KBK	2 - mäßige Korrosionsbeanspruchung
Lebensmitteltauglichkeit	siehe erweiterte Werkstoffinformation
Umgebungstemperatur	-25 ... 70 °C
Nenn-Anziehdrehmoment	2,5 Nm
Toleranz zum Nenn-Anziehdrehmoment	± 10 %
Produktgewicht	4 g
Pneumatischer Anschluss 1	Außengewinde G3/8
Pneumatischer Anschluss 2	Steckhülse CQ-12
Werkstoffhinweis	LABS-haltige Stoffe enthalten RoHS konform
Werkstoff Gehäuse	POM
Werkstoff Lösering	POM

Steckverschraubung CQ-1/2-12H

Teilenummer: 177706

FESTO

für hohen Durchfluss.



Datenblatt

Merkmal	Wert
Nennweite	8,65 mm
Dichtungsart am Einschraubzapfen	Dichtring
Einbaulage	beliebig
Gebindegröße	1
Konstruktiver Aufbau	Push-Pull-Prinzip
Betriebsdruck kompletter Temperaturbereich	-0,95 ... 7 bar
Temperaturabhängiger Betriebsdruck	-0,95 ... 15 bar
Maritime Klassifizierung	siehe Zertifikat
Betriebsmedium	Druckluft nach ISO 8573-1:2010 [7:-:-]
Hinweis zum Betriebs- und Steuermedium	Geölter Betrieb möglich (im weiteren Betrieb erforderlich)
Korrosionsbeständigkeitsklasse KBK	2 - mäßige Korrosionsbeanspruchung
Lebensmitteltauglichkeit	siehe erweiterte Werkstoffinformation
Umgebungstemperatur	-25 ... 70 °C
Nenn-Anziehdrehmoment	2,5 Nm
Toleranz zum Nenn-Anziehdrehmoment	± 10 %
Produktgewicht	8 g
Pneumatischer Anschluss 1	Außengewinde G1/2
Pneumatischer Anschluss 2	Steckhülse CQ-12
Werkstoffhinweis	LABS-haltige Stoffe enthalten RoHS konform
Werkstoff Gehäuse	POM
Werkstoff Lösering	POM

Kunststoffschlauch PAN-MF-8X1-SW

Teilenummer: 570359

FESTO



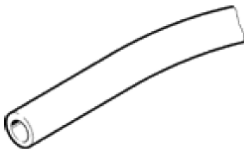
Datenblatt

Merkmal	Wert
Außen-Durchmesser	8 mm
Durchflussrelevanter Biegeradius	50 mm
Innen-Durchmesser	6 mm
Min. Biegeradius	35 mm
Entspricht Norm	DIN 73378-PA12-PHL
Schlaucheigenschaften	schleppkettentauglich für Anwendungen mit höherer Taktzahl
Prüfbedingungen Schlauch	Schleppkettentauglichkeit: >5 Mio Zyklen nach FN 942021
Temperaturabhängiger Betriebsdruck	-0,95 ... 19 bar
Betriebsmedium	Druckluft nach ISO 8573-1:2010 [7:-:-] Mineralöl
Umgebungstemperatur	-60 ... 100 °C
Produktgewicht nach Länge	0,022 kg/m
Pneumatischer Anschluss	für Steckanschluss Außendurchmesser 8 mm
Farbe	schwarz
Shore-Härte	D 65 +/-3
Werkstoffhinweis	Kupfer- und PTFE-frei RoHS konform
Werkstoff Schlauch	Polyamid 12

Kunststoffschlauch PAN-MF-12X1,5-SW

Teilenummer: 570361

FESTO



Datenblatt

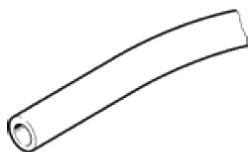
Merkmal	Wert
Außen-Durchmesser	12 mm
Durchflussrelevanter Biegeradius	70 mm
Innen-Durchmesser	9 mm
Min. Biegeradius	50 mm
Entspricht Norm	DIN 73378-PA12-PHL
Schlaucheigenschaften	schleppkettentauglich für Anwendungen mit höherer Taktzahl
Prüfbedingungen Schlauch	Schleppkettentauglichkeit: >5 Mio Zyklen nach FN 942021
Temperaturabhängiger Betriebsdruck	-0,95 ... 19 bar
Betriebsmedium	Druckluft nach ISO 8573-1:2010 [7:-:-] Mineralöl
Umgebungstemperatur	-60 ... 100 °C
Produktgewicht nach Länge	0,051 kg/m
Pneumatischer Anschluss	für Steckanschluss Außendurchmesser 12 mm
Farbe	schwarz
Shore-Härte	D 65 +/-3
Werkstoffhinweis	Kupfer- und PTFE-frei RoHS konform
Werkstoff Schlauch	Polyamid 12

Kunststoffschlauch PUN-V0-8X2-BL-C

Teilenummer: 561703

FESTO

flammhemmend.



Datenblatt

Merkmal	Wert
Außen-Durchmesser	8 mm
Durchflussrelevanter Biegeradius	35 mm
Innen-Durchmesser	4 mm
Min. Biegeradius	9 mm
Schlaucheigenschaften	schleppkettentauglich für Anwendungen mit höherer Taktzahl
Prüfbedingungen Schlauch	Schleppkettentauglichkeit: >5 Mio Zyklen nach FN 942021
Temperaturabhängiger Betriebsdruck	-0,95 ... 20 bar
Zulassung	TÜV
Betriebsmedium	Druckluft nach ISO 8573-1:2010 [7:-:-] Wasser gemäß Herstellererklärung unter www.festo.com
Brandprüfung Werkstoff	UL94 V-0 (3mm) UL94 V-2 (0,75mm)
Umgebungstemperatur	-35 ... 60 °C
Produktgewicht nach Länge	0,049 kg/m
Pneumatischer Anschluss	für Steckanschluss Außendurchmesser 8 mm für Stecknippel Innendurchmesser 4 mm
Farbe	blau
Hinweis zur Farbe	wegen Flammenschutz Abweichung zur Standardfarbe
Shore-Härte	D 54 +/- 3
Werkstoffhinweis	Kupfer- und PTFE-frei RoHS konform
Werkstoff Schlauch	TPE-U(PU)

TECHNISCHES DATENBLATT (Technical Data Sheet)

Qualität
Quality

KOEPPcell®
EPDM-SUW

Farbe
Colour

schwarz
black



Klassifizierung
Classification

ASTM D-1056 2A1 A2 B3 C2 F1 M P

Brandverhalten
Fire behaviour

angelehnt an FMVSS 302
based on FMVSS 302

bestanden ab 5,0 mm Dicke
passed at 5.0 mm thickness

geprüft nach
tested to

DBL 5574
TL 52065

Konform gemäß
Compliant with

Richtlinie/Guideline
2011/65/EU & (EU) 2015/863
RoHS

& Verordnung/Regulation
(EG) Nr. 1907/2006
REACH

& Conflict Mineral Reporting
Template (CMRT)

EPDM series	Norm Standard	
Materialbasis Material base	ISO 1629	Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk (EPDM) Ethylene-Propylene-Diene-Rubber (EPDM)
Allgemeine Beschreibung General description	ohne Norm without standard	geschlossen-zelliger, weichelastischer Zellgummi closed cell, soft-elastic cellular rubber Zellgröße ≤ 0,4 mm cell size ≤ 0.4 mm
Rohdichte Density	ISO 845	80 ± 15 kg/m³
Gebrauchstemperatur Application temperature	ohne Norm without standard	-40 °C bis/to + 105°C, kurzzeitig/short time bis/to +120 °C
Linearer Schwund Linear shrinkage	WSK-M2D419-17	≤ 5% (3 h bei/at 80 °C und/and 6,3 mm Dicke/thickness)
Freibewitterung Outdoor exposure	ISO 877	Wetterbeständigkeit sehr gut Very good weather resistance
Ozonbeständigkeit Ozone resistance	ISO 1431-1	Rissbildstufe (0) Resistant to cracking (0)
Korrosionsverhalten Corrosion resistance	VW PV 3976	Stufe 3 (Anlauffarben, stark) Level 3 (annealing colours, strong)
Druckverformungsrest Compression set	ASTM D-1056	23 °C, 50%: ≤ 75% (nach/after 0,5 h), ≤ 30% (nach/after 24 h) 40 °C, 50%: ≤ 85% (nach/after 0,5 h), ≤ 50% (nach/after 24 h)
Druckspannung Compression deflection	ASTM D-1056	30 ± 15 kPa (bei/at 25% Kompression/compression) 100 ± 25 kPa (bei/at 50% Kompression/compression)
Wasseraufnahme Water absorption	ASTM D-1056	≤ 5%
Zugfestigkeit Tensile strength	ISO 1798	≥ 150 kPa
Bruchdehnung Elongation at break	ISO 1798	≥ 125%
Weiterreißfestigkeit Tear resistance	ISO 34-1	≥ 0,5 kN/m
Rückprallelastizität Rebound resilience	ISO 4662	50 ± 5%
Shorehärte Shore hardness	ISO 868	20 ± 6 Shore 00
Elektrische Leitfähigkeit Electrical conductivity	EN 61340	> 1,20 TΩ
Wärmeleitfähigkeit Thermal conductivity	ISO 8302	≤ 0,045 W/mK

TECHNISCHES DATENBLATT (Technical Data Sheet)

Qualität
Quality

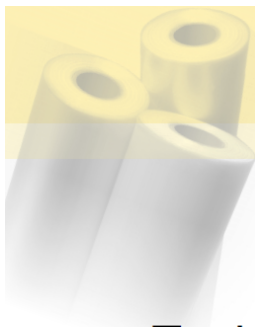
KOEPPCell®
EPDM-SUW

Farbe
Colour

schwarz
black

KÖPP
experts in foam

EPDM series	
Lieferform <i>Form of delivery</i>	<p>Größe der Blöcke mit Fabrikationshaut 2.000 x 1.000 x 55 mm, 2x Haut. Das Material kann weiterverarbeitet werden durch Spalten, Schneiden, Sägen, Stanzen, Kleben, Fräsen, Schleifen und Beschichten mit Haftkleber. <i>Block size with production skin 2,000 (78 3/4") x 1,000 (39 3/8") x 55 (2 1/6") mm, 2x skin. The material can be further processed by splitting, cutting, sawing, punching, gluing, milling, grinding and coating with adhesives.</i></p> <p>Allgemeine Maßtoleranzen für Platten und Plattenartikel nach DIN 7715 P3, Maßtoleranzen für Blockware können ggf. abweichen. <i>General dimensional tolerances for sheet and sheet products comply with DIN 7715 P3, dimensional tolerances for the block material may differ.</i></p>
Beispiele für Chemikalienbeständigkeit <i>Examples for chemical resistances</i>	<p>einsetzbar/deployable (++)</p> <p>Säuren und Laugen in gängigen Konzentrationen, Wasser und -dampf bis 100 °C, Meerwasser, Kalium- und Natriumverbindungen, Alaun wässrig, Waschmittel, Fotochemikalien, Ammoniak kalt, Acetylen, Alkohole, Glycerin, Bremsflüssigkeit, Frostschutzmittel auf Glykolbasis, Kohlensäure, Ozon, Silikonöl und -fett, Chlorkalk wässrig. <i>Acids and bases in common concentrations, water, water steam up to 100 °C, sea water, potassium and sodium compounds, alum aqueous, detergent, photographic chemicals, ammonia cold, acetylene, alcohols, glycerine, brake fluids, glycol-based anti-freeze, carbonic acid, ozone, silicone oil, bleaching powder aqueous.</i></p> <p>bedingt einsetzbar/limited deployable (+)</p> <p>Chlorgas, Ammoniak heiß, konz. Salzsäure. <i>Chlorine gas, ammonia hot, conc. hydrochloric acid.</i></p> <p>nicht zu empfehlen/not recommended (-)</p> <p>Kraftstoffe, Öle, Fette, Testbenzin, Lösemittel wie Toluol, Dichlormethan, Trichlorethen, Tetrachlorethen (PER), Nitroverdünnung, konz. Salpeter- und Schwefelsäure. <i>Fuels, oils, greases, mineral spirits, solvents such as toluene, dichloromethane, trichloroethylene, perchloroethylene (PER), cellulose thinners, conc. nitric and sulfuric acid.</i></p>
Hinweise zur Entsorgung <i>Suggestions for disposal</i>	<p>Enthält keine besonders überwachungsbedürftigen Abfälle (Stoffe) wie Cadmium, Blei, FCKWs, Formaldehyd, usw. gemäß der Deponieverordnung vom 27.04.2009. <i>It does not contain hazardous compounds such as cadmium, lead, CFCs, formaldehyde, etc. which require compliance to waste disposal regulations from 27/04/2009.</i></p> <p>Es kann deshalb unter Beachtung der örtlichen Abfallentsorgungsbestimmungen auf Hausmülldeponien oder in Hausmüllverbrennungsanlagen entsorgt werden. <i>Under the observance of local waste disposal regulations, it may therefore be disposed of as household waste on landfills or domestic waste incineration plants.</i></p>
<p>Die Angaben wurden sorgfältig ermittelt, eine Haftung ist jedoch ausgeschlossen. Die vorstehenden Hinweise entbinden den Anwender nicht von eigenen Versuchen. Genauere Informationen können nur nach gezielten Untersuchungen im Einzelfall erhalten werden. <i>The information were thoroughly determined, liability is excluded. The above given information does not release the user from own tests. Detailed information can only be obtained after formal testing in individual cases.</i></p>	
<p style="text-align: right;">Datum/Date: 11/2019</p>	



Technical Data Sheet of PVOH FILM

Material:

PVOH/PVA/POVAL (Polyvinyl Alcohol).

Physical property:

RH (45+2)%, Temp. (22+2)°C

Fusion point: >150 °C

Inflammability: non detectable

Decomposition temperature: >260 °C

Self-ignition: >400 °C

Explosion danger: no

PH value: 5-7 (4wt% water solution)

Specific weight: 1.1~1.3g / cm³

Moisture content: the moisture content varies according to the ambient temperature and humidity.

Mechanical Property:

Tensile strength: (GB/T 13022-1991) > 25 Mpa

Tear strength: (QB/T1132-1900) > 100N/mm

Elongation: (GB/3022) > 160%

Test Condition: put the high water soluble PVOH film into the oven (60-65 °C) for three hours.

Water solubility (Thickness:20micron):

Water temperature	Begin to dissolve (Sec.)	Totally dissolved (Sec.)
15 °C Dynamic water	18	260
15 °C Static water	28	300

Tolerance:

Thickness Tolerance: +/- 3 micron, when the film is 20 micron.

Limburg, 12 April 2010



EVAL™ (EVOH) Harzsorten

Im Folgenden erhalten Sie eine Übersicht über die EVAL™-Harzsorten mit ihren typischen Eigenschaften und Einsatzgebieten, unterschieden in Standard- und Spezialsorten:

Tabelle 1a: Standardsorten

Typ	Et.Geh. (mol%)	Dichte ^{*1} (g/cm³)	MFR ^{*2} (g/10 min)	Tm (°C)	Tg ^{*3} (°C)	OTR ^{*4} (cm³.20 µm/ m².d.atm)	Einsatzgebiet
F101B	32	1,19	1,6	183	69	0,4	Flasche, Platte, Folie, Rohr
F171B	32	1,19	1,8	182	57	0,4	Flasche, Platte, Folie, Rohr
T101B	32	1,17	1,7	183	69	0,5	Thermoformen, Platte, Folie
H171B	38	1,17	1,7	172	53	0,7	Folie
E105B	44	1,14	5,5	165	55	1,5	Platte, Folie

*1 20 °C

*2 190 °C, 2160 g

*3 trocken

*4 Sauerstoffdurchlässigkeit, 20 °C, 65 % rel. F. (ISO 14663-2)

Tabelle 1b: Spezielle Versionen von Standardtypen

Type	Et.Geh. (mol%)	Dichte ^{*1} (g/cm³)	MFR ^{*2} (g/10 min)	Tm (°C)	Tg ^{*3} (°C)	OTR ^{*4} (cm³.20 µm/ m².d.atm)	Einsatzgebiet
F101A	32	1,19	1,6	183	69	0,4	F101 ohne externen Schmierstoff
F104B	32	1,19	4,5	183	69	0,4	Hoher MFR, Typ F
E171B	44	1,14	1,7	167	54	1,5	Niedriger MFR, Typ E
FP101B	32	1,19	1,6	183	69	0,4	Rohr enthält Antioxidans
FP104B	32	1,19	4,5	183	69	0,4	Rohr enthält Antioxidans
EP105B	44	1,14	5,5	165	55	1,5	Rohr enthält Antioxidans

*1 20 °C

*2 190 °C, 2160 g

*3 trocken

*4 Sauerstoffdurchlässigkeit, 20 °C, 65 % rel. F. (ISO 14663-2)

Tabelle 1c: Spezielle Sorten

Type	Et.Geh. (mol%)	Dichte ^{*1} (g/cm³)	MFR ^{*2} (g/10 min)	Tm (°C)	Tg ^{*3} (°C)	OTR ^{*4} (cm³.20 µm/ m².d.atm)	Einsatzgebiet
M100B	24	1,22	2,2	195	60	0,05	Ultrahohe Barriere
L171B	27	1,20	4,0 ^{*5}	190	60	0,2	Hohe Barriere
J102B	32	1,17	2,0	183	69	0,6	Tiefziehthermoformen, Platte, Folie
C109B	35	1,17	8	179	66	0,55	Extrusionsbeschichten
G176B	48	1,12	6,9	159	49	3,2	Orientierte Schrumpffolie

*1 20 °C

*2 190 °C, 2160 g

*3 trocken

*4 Sauerstoffdurchlässigkeit, 20 °C, 65 % rel. F. (ISO 14663-2)

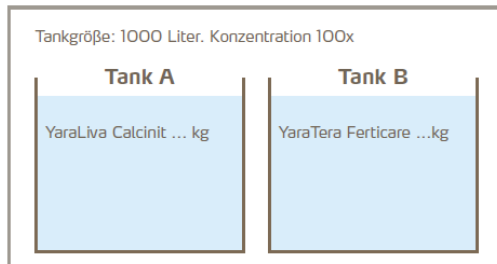
*5 210 °C, 2160 g

Anwendungsempfehlung: YaraTera Fertilcare Crop Specific (kulturspezifisch)

Diese allgemeine Pflanzenempfehlung sollte stets den örtlichen Bedingungen und Umständen angepasst werden.

Phase 1: Start

- Starker vegetativer Schwerpunkt
- Extra-Ca für eine starke Zellentwicklung
- Reduziertes K zur Stimulierung der Ca-Aufnahme

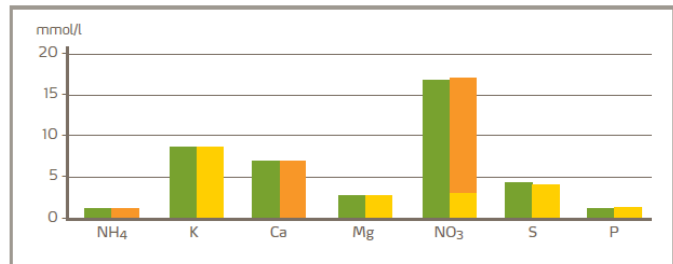


1: Yara Tera Fertilcare Lösung – für Tropfwasser EC

Fügen Sie dem Dünger Wasser hinzu.

- = g/l YaraTera Fertilcare
- = g/l YaraLiva Calcinit

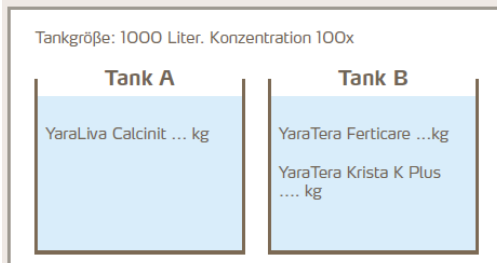
■ = Gewünschte Düngertlösung



Phase 2: Standard (während der Saison)

Der Schwerpunkt liegt in einem ausgewogenen Wachstum (vegetativ/generativ).

- Erhöhtes K für Früchte und Reduzierung von Extra-Ca.

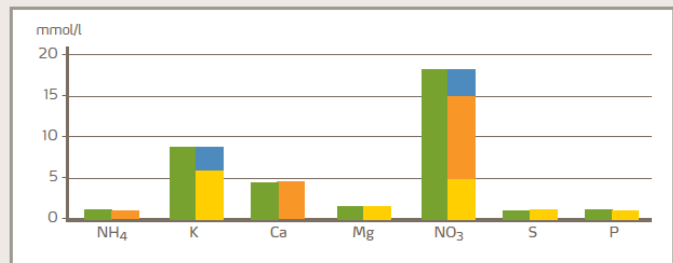


2: Yara Tera Fertilcare Lösung – für Tropfwasser EC

Fügen Sie dem Dünger Wasser hinzu.

- = g/l YaraTera Fertilcare
- = g/l YaraLiva Calcinit

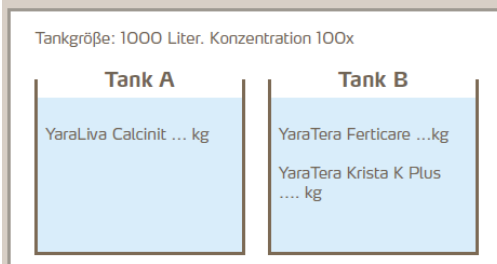
- = g/l YaraTera Krista K Plus
- = Gewünschte Düngertlösung



Phase 3: Entwicklung der Blüten / Früchte

Starker generativer Fokus, um eine gute Qualität der Früchte zu gewährleisten.

- Extra-K, um den hohen Bedarf der Früchte zu decken.

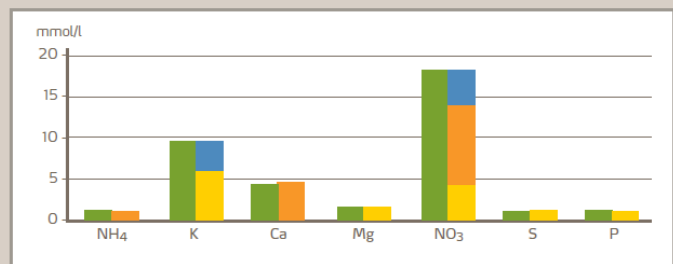


3: Yara Tera Fertilcare Lösung – für Tropfwasser EC

Fügen Sie dem Dünger Wasser hinzu.

- = g/l YaraTera Fertilcare
- = g/l YaraLiva Calcinit

- = g/l YaraTera Krista K Plus
- = Gewünschte Düngertlösung



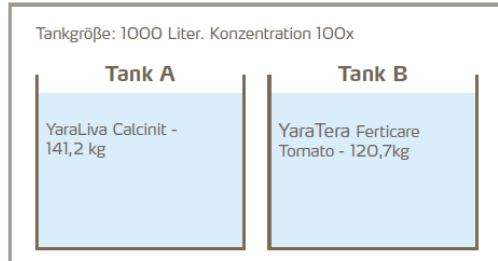
Anwendungsempfehlung: YaraTera Fercicare Tomate

Diese allgemeine Empfehlung sollte stets den örtlichen Bedingungen und Umständen angepasst werden.

Phase 1: Von Beginn bis zur Blüte der 2. / 3. Blütentrossen

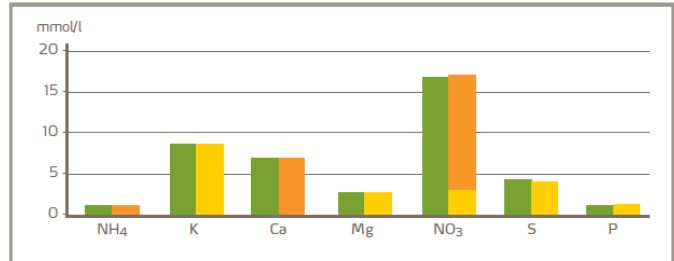
Der Schwerpunkt liegt auf dem vegetativen Wachstum, um viele Blätter zu produzieren und die Photosynthese / Aktivität zu erhöhen.

- Extra-Ca für eine starke Zellentwicklung.
- Reduziertes K zur Stimulierung der Ca-Aufnahme



1: Yara Tera Fercicare Lösung – für Tropfwasser EC 2,7 Fügen Sie dem Dünger Wasser hinzu.

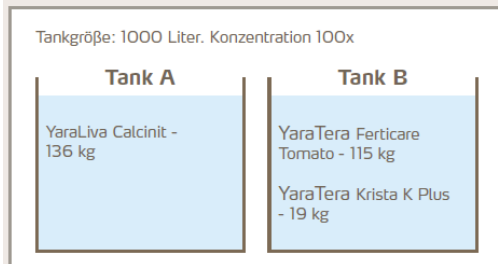
- = 1,20 g/l YaraTera Fercicare Tomato
- = 1,41 g/l YaraLiva Calcinit
- = Gewünschte Düngelösung



Phase 2: Blühphase mit 3, 4, 5, (6) Blütentrossen

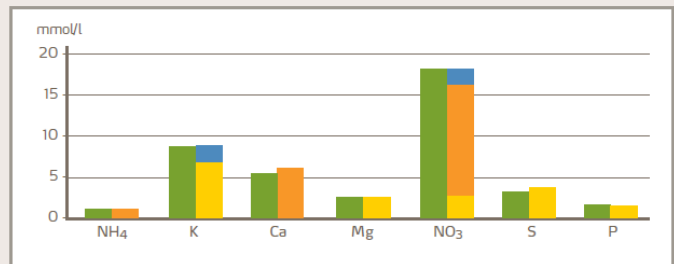
Der Schwerpunkt liegt in einem generativen Wachstum, um die Blühphase zu stimulieren

- Erhöhtes K im Verhältnis zu Ca.



2: Yara Tera Fercicare Lösung – für Tropfwasser EC 2,7 Fügen Sie dem Dünger Wasser hinzu.

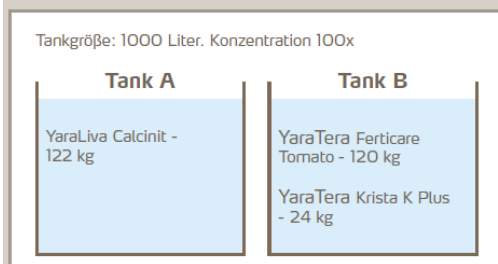
- = 1,15 g/l YaraTera Fercicare Tomato
- = 1,36 g/l YaraLiva Calcinit
- = 0,19 g/l YaraTera Krista K Plus
- = Gewünschte Düngelösung



Phase 3: Bis zur ersten Ernte (Fruchttrosse +/- 5 – 10)

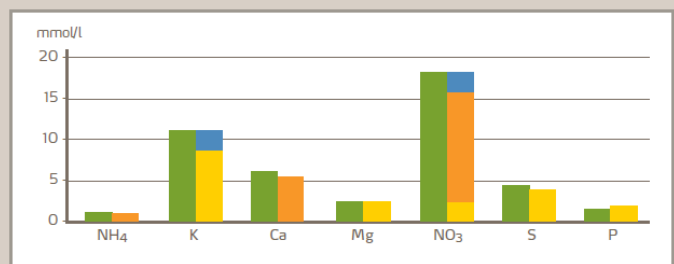
Starker generativer Schwerpunkt, um eine gute Qualität der Früchte zu gewährleisten.

- Extra-K ist erforderlich, um den hohen Bedarf der Früchte zu decken.



3: Yara Tera Fercicare Lösung – für Tropfwasser EC 2,7 Fügen Sie dem Dünger Wasser hinzu.

- = 1,20 g/l YaraTera Fercicare Tomato
- = 1,22 g/l YaraLiva Calcinit
- = 0,24 g/l YaraTera Krista K Plus
- = Gewünschte Düngelösung



Phase 4: Optional

Nach der ersten Ernte gehen Sie zurück zu Phase 2 (Blühphase von Blütentrossen).

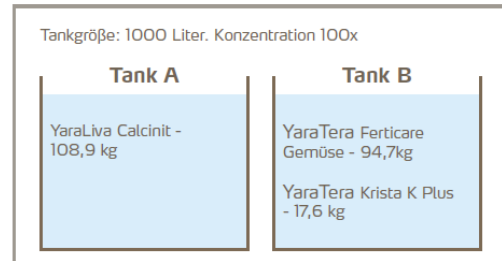
Anwendungsempfehlung: YaraTera Ferticare Gemüse (Salatgurke)

Diese allgemeine Pflanzenempfehlung sollte stets den örtlichen Bedingungen und Umständen angepasst werden.

Phase 1: Beginn (die ersten 3 Wochen)

Der Schwerpunkt liegt auf dem vegetativen Wachstum, um viele Blätter zu produzieren und die Photosynthese / Aktivität zu erhöhen.

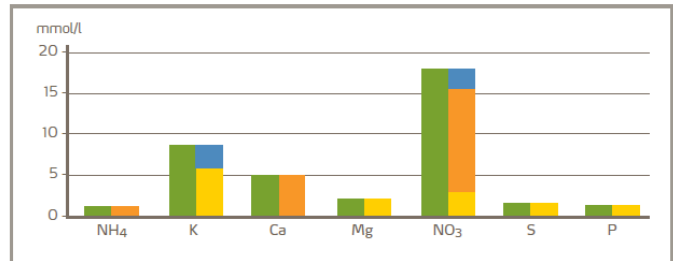
- Extra-Ca für eine starke Zellentwicklung.
- Reduziertes K zur Stimulierung der Ca-Aufnahme



1: YaraTera Ferticare Lösung – für Tropfwasser EC 2,2

Fügen Sie den Düngern Wasser hinzu.

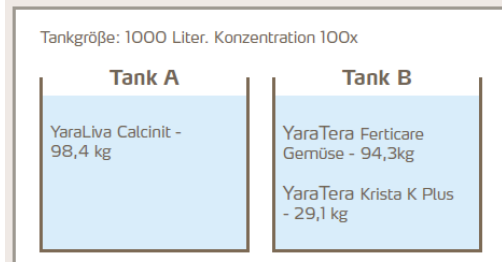
- = 0,95 g/l YaraTera Ferticare Gemüse
- = 1,10g/l YaraLiva Calcinit
- = 0,18 g/l YaraTera Krista K Plus
- = Gewünschte Düngertlösung



Phase 2: Standard (von Woche 3 bis zur ersten Ernte)

Der Schwerpunkt liegt auf einem ausgewogenen Wachstum (vegetativ / generativ).

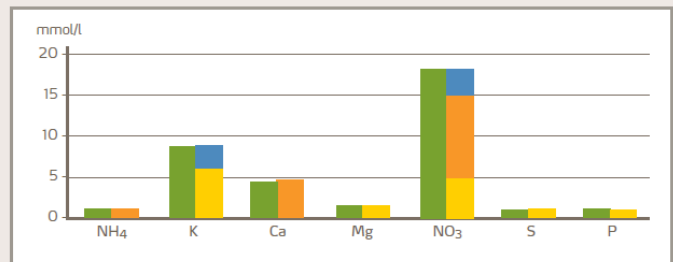
- Erhöhtes K für Früchte und Reduzierung des Extra-Ca.



2: YaraTera Ferticare Lösung – für Tropfwasser EC 2,2

Fügen Sie den Düngern Wasser hinzu.

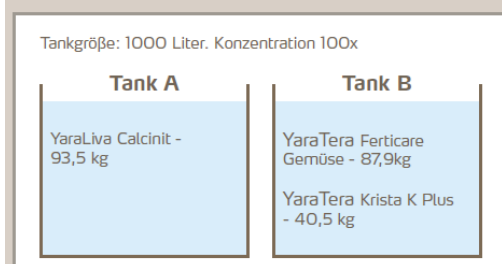
- = 0,94 g/l YaraTera Ferticare Gemüse
- = 0,98 g/l YaraLiva Calcinit
- = 0,29 g/l YaraTera Krista K Plus
- = Gewünschte Düngertlösung



Phase 3: Belastung durch Früchte

Starker generativer Schwerpunkt, um eine gute Qualität der Früchte zu gewährleisten.

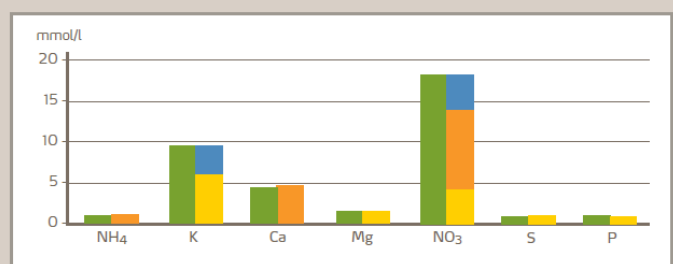
- Extra-K ist erforderlich, um den hohen Bedarf der Früchte zu decken.



3: YaraTera Ferticare Lösung – für Tropfwasser EC 2,2

Fügen Sie den Düngern Wasser hinzu.

- = 0,88 g/l YaraTera Ferticare Gemüse
- = 0,94 g/l YaraLiva Calcinit
- = 0,41 g/l YaraTera Krista K Plus
- = Gewünschte Düngertlösung



Phase 4: Optional

Für ein erneutes Wachstum der Pflanze nach der Ernte gehen Sie zurück zu Phase 2: Standard – ausgewogenes Wachstum.

Allgemeine Pflanzenempfehlung: YaraTera Fertilcare Gemüse (Gemüsepaprika)

Diese allgemeine Pflanzenempfehlung sollte stets den örtlichen Bedingungen und Umständen angepasst werden.

Phase 1: Beginn (die ersten 3-4 Wochen)

Der Schwerpunkt liegt auf dem vegetativen Wachstum, um viele Blätter zu produzieren und die Fotosynthese / Aktivität zu erhöhen.

- Extra-Ca für eine starke Zellentwicklung.
- Reduziertes K zur Stimulierung der Ca-Aufnahme

Tankgröße: 1000 Liter. Konzentration 100x

Tank A	Tank B
YaraLiva Calcinit - 120 kg	YaraTera Fertilcare Gemüse - 88kg
	YaraTera Krista K Plus - 5 kg

1: Yara Tera Fertilcare Lösung – für Tropfwasser EC 2,1

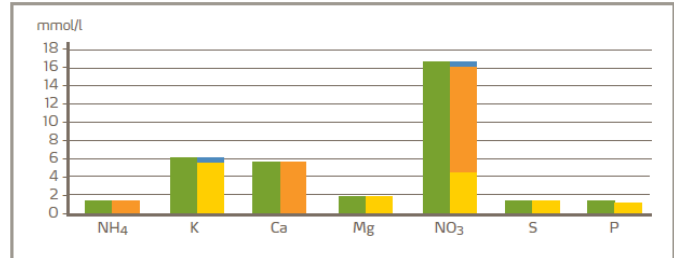
Fügen Sie dem Dünger Wasser hinzu.

■ = 0,88 g/l YaraTera Fertilcare Gemüse

■ = 1,20g/l YaraLiva Calcinit

■ = 0,05 g/l YaraTera Krista K Plus

■ = Gewünschte Düngertlösung



Phase 2: Standard (während der Saison)

Der Schwerpunkt liegt auf einem ausgewogenen Wachstum (vegetativ / generativ).

- Erhöhtes K für Früchte und Reduzierung des Extra-Ca.

Tankgröße: 1000 Liter. Konzentration 100x

Tank A	Tank B
YaraLiva Calcinit - 109,4 kg	YaraTera Fertilcare Gemüse - 86,9kg
	YaraTera Krista K Plus - 14,8 kg

2: Yara Tera Fertilcare Lösung – für Tropfwasser EC 2,1

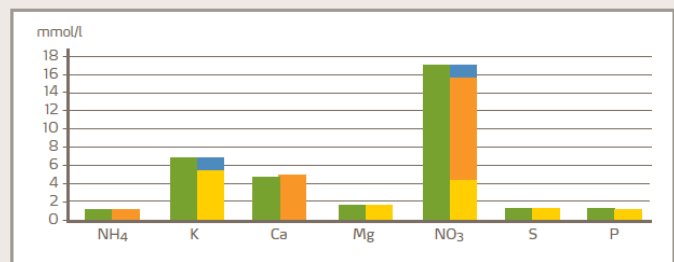
Fügen Sie dem Dünger Wasser hinzu.

■ = 0,87 g/l YaraTera Fertilcare Gemüse

■ = 1,10 g/l YaraLiva Calcinit

■ = 0,15 g/l YaraTera Krista K Plus

■ = Gewünschte Düngertlösung



Phase 3: Schwere Last durch Früchte

Starker generativer Schwerpunkt, um eine gute Qualität der Früchte zu gewährleisten.

- Extra-K ist erforderlich, um den hohen Bedarf der Früchte zu decken.

Tankgröße: 1000 Liter. Konzentration 100x

Tank A	Tank B
YaraLiva Calcinit - 110 kg	YaraTera Fertilcare Gemüse - 87 kg
	YaraTera Krista K Plus - 25 kg

3: Yara Tera Fertilcare Lösung – für Tropfwasser EC 2,1

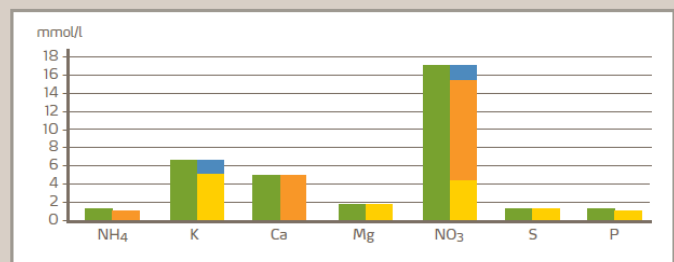
Fügen Sie dem Dünger Wasser hinzu.

■ = 0,87 g/l YaraTera Fertilcare Gemüse

■ = 1,10 g/l YaraLiva Calcinit

■ = 0,25 g/l YaraTera Krista K Plus

■ = Gewünschte Düngertlösung



Phase 4: Optional

Für ein erneutes Wachstum der Pflanze nach der Ernte gehen Sie zurück zu Phase 2: Standard – ausgewogenes Wachstum.

Allgemeine Pflanzenempfehlung: YaraTera Ferticare Erdbeeren

Diese allgemeine Pflanzenempfehlung sollte stets den örtlichen Bedingungen und Umständen angepasst werden.

Phase 1: Beginn

Der Schwerpunkt liegt auf dem vegetativen Wachstum, um die Aktivität zu erhöhen, viele Blätter zu produzieren und die Photosynthese zu stärken.

- Extra-Ca für eine starke Zellentwicklung.
- Reduziertes K zur Stimulierung der Ca-Aufnahme.

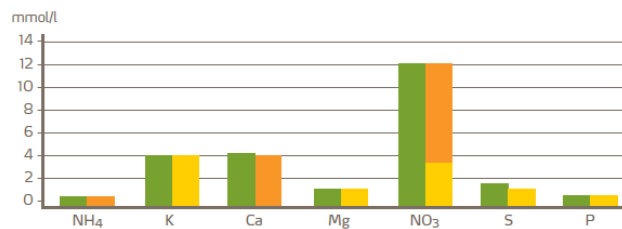
Tankgröße: 1000 Liter. Konzentration 100x

Tank A	Tank B
YaraLiva Calcinit - 85,5 kg	YaraTera Ferticare Erdbeeren - 66,5kg

1: YaraTera Ferticare Lösung – für Tropfwasser EC 1,6

Fügen Sie dem Dünger Wasser hinzu.

- = 0,67 g/l YaraTera Ferticare Erdbeeren
- = 0,86 g/l YaraLiva Calcinit
- = Gewünschte Düngelösung



Phase 2: Standard – Beginn der Blüte

Der Schwerpunkt liegt auf einem ausgewogenen Wachstum. Mehr generatives Wachstum, um das Blühen zu stimulieren.

- Erhöhtes K für das Blühen/den ersten Fruchtstand und Reduzierung des Extra-Ca.

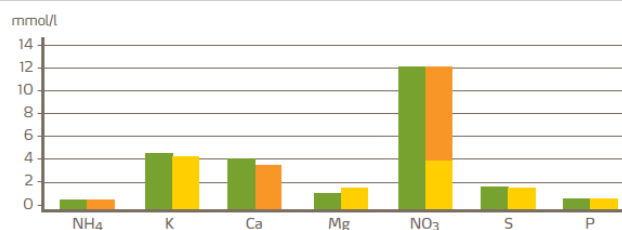
Tankgröße: 1000 Liter. Konzentration 100x

Tank A	Tank B
YaraLiva Calcinit - 80,2 kg	YaraTera Ferticare Erdbeeren - 74,8kg

2: YaraTera Ferticare Lösung – für Tropfwasser EC 1,6

Fügen Sie dem Dünger Wasser hinzu.

- = 0,75 g/l YaraTera Ferticare Erdbeeren
- = 0,80 g/l YaraLiva Calcinit
- = Gewünschte Düngelösung



Phase 3: Fruchtstand – Reifevorgang - Ernte

Starker generativer Schwerpunkt, um eine gute Qualität der Früchte zu gewährleisten.

- Extra-K ist erforderlich, um den der Früchte zu decken.

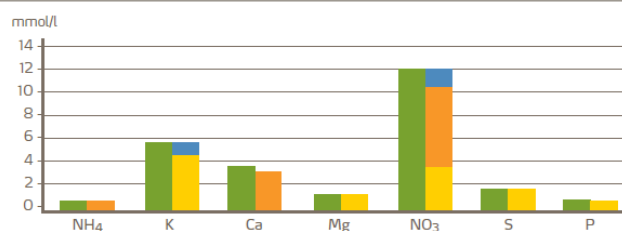
Tankgröße: 1000 Liter. Konzentration 100x

Tank A	Tank B
YaraLiva Calcinit - 68,2 kg	YaraTera Ferticare Erdbeeren - 72,3 kg
	YaraTera Krista K Plus - 13,1 kg

3: YaraTera Ferticare Lösung – für Tropfwasser EC 1,6

Fügen Sie dem Dünger Wasser hinzu.

- = 0,72 g/l YaraTera Ferticare Erdbeeren
- = 0,68 g/l YaraLiva Calcinit
- = 0,13 g/l YaraTera Krista K Plus
- = Gewünschte Düngelösung



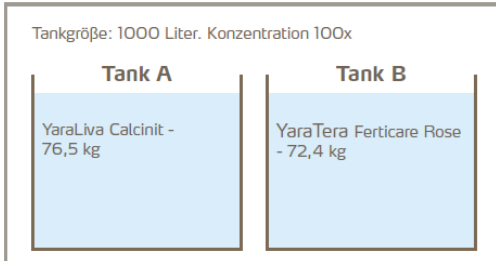
Allgemeine Pflanzenempfehlung: YaraTera Ferticare Rose

Diese allgemeine Pflanzenempfehlung sollte stets den örtlichen Bedingungen und Umständen angepasst werden.

Phase 1: Beginn – junge Kulturpflanze vor der Pflanzenproduktion

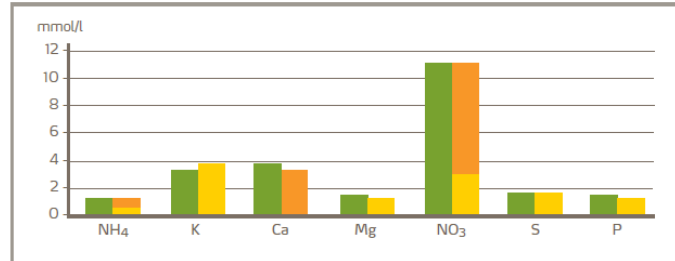
In der ersten Phase liegt der Schwerpunkt auf dem vegetativem Wachstum. Ziel ist es, viele Blätter zu erhalten und die Photosyntheseleistung der Pflanzen zu fördern.

- Extra-Ca für eine starke Zellentwicklung.
- Reduziertes K zur Stimulierung der Ca-Aufnahme.



1: Yara Tera Ferticare Lösung – für Tropfwasser EC 1,5 Fügen Sie dem Dünger Wasser hinzu.

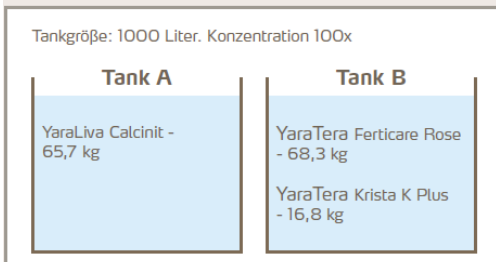
- = 0,72 g/l YaraTera Ferticare Rose
- = 0,77 g/l YaraLiva Calcinit
- = Gewünschte Düngelösung



Phase 2: Blühphase - Pflanzenproduktion

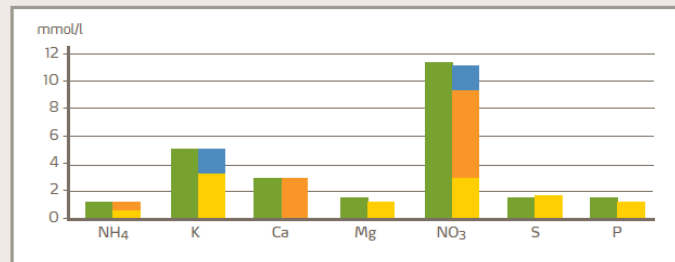
In dieser Phase liegt der Schwerpunkt eher auf dem generativen Wachstum.

- Erhöhtes K für mehr generatives Wachstum und Reduzierung des Extra-Ca.



2: Yara Tera Ferticare Lösung – für Tropfwasser EC 1,5 Fügen Sie dem Dünger Wasser hinzu.

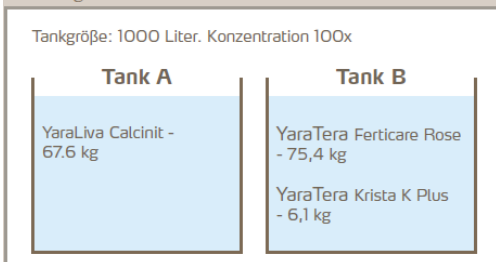
- = 0,68 g/l YaraTera Ferticare Rose
- = 0,66 g/l YaraLiva Calcinit
- = 0,17 g/l YaraTera Krista K Plus
- = Gewünschte Düngelösung



Phase 3: Winterperiode – geringere Pflanzenproduktion

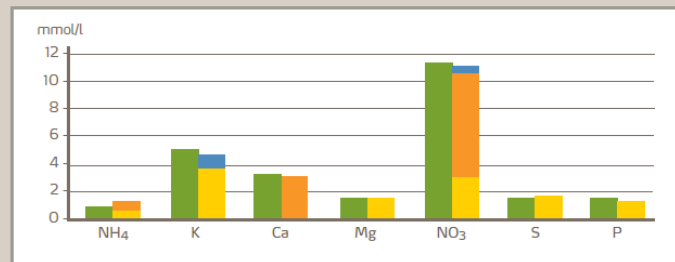
Die Düngerezeptur muss an das Winterklima angepasst werden (= reduziertes Wachstum / Aktivität), um zu vermeiden dass schwache, anfällige Pflanzen entstehen

- Reduzierung von Stickstoff und Kalium im Vergleich zu den anderen Elementen



3: Yara Tera Ferticare Lösung – für Tropfwasser EC 1,5 Fügen Sie dem Dünger Wasser hinzu.

- = 0,75 g/l YaraTera Ferticare Rose
- = 0,68 g/l YaraLiva Calcinit
- = 0,06 g/l YaraTera Krista K Plus
- = Gewünschte Düngelösung



YaraTera® FERTICARE® – Hervorragende Qualität

Hergestellt in den Niederlanden nach den
höchsten Yara Standards.

Yara Vlaardingen B.V.

Erfahrungen in der Herstellung von wasserlöslichen Düngemitteln, die im Laufe einer langen Firmengeschichte (mit Ursprüngen im Jahr 1918) erworben wurden.

- NPK-Dünger für die Fertigation
- NPK-Dünger für die Substratindustrie/Flüssige Fertigungsdünger

In modernen Laboren werden folgende Stoffe analysiert:

- alle eingehenden Rohstoffe
- ausgehende Endprodukte



Probeentnahme während jedes Produktionslaufs

- Aufbewahrung für mindestens 1 Jahr
- Alle WS NPK- Düngemittel
- Alle Substrat-Dünger
- Alle Flüssigdünger

YaraTera Ferticare

st zu 100 Prozent wasserlöslich, was zur Folge hat, dass:

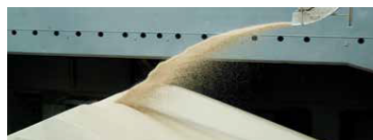
- keine Ausfällungen entstehen
- Keine verstopften Filter/-systeme entstehen

Rein und homogen/einheitlich

- Keine Rückstände
- Keine Entmischung
- Möglichkeit der Dosierung eines ½ oder ¼ Sacks

Nicht verbackend und staubfrei

- Schnell und einfach zu handhaben
- Saubere Nutzung



YaraTera Ferticare ist frei von Harnstoff

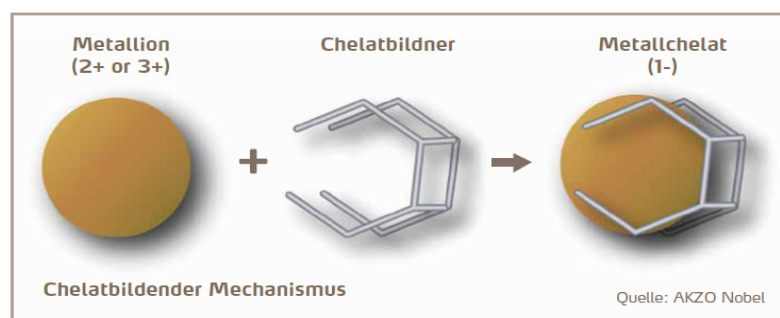
Die Verwendung von Harnstoff-Rezepturen in erdelosen Kulturen birgt das Risiko eines pH-Wert-Abfalls, was zu verbrannten Wurzelspitzen führt.

YaraTera Ferticare enthält hauptsächlich Nitrat, wenig Ammonium und ist frei von Harnstoff

- Ein stabiler pH-Wert im Wurzelbereich
- Verhindert einen pH-Wert-Abfall / verbrannte Wurzeln

Spurenelemente werden chelatisiert anstelle von Sulfaten, das bedeutet:

- Bessere Verfügbarkeit
- Leichtere Aufnahme durch die Wurzeln
- Effizienter – es wird weniger gebraucht



YaraTera Ferticare Rezepturen Spezifikationen in Gewichtsprozenten

YaraTera Ferticare	NO ₃	NH ₄	N-total	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	SO ₃	EC lgr/l	Bemerkung
TOMATO	3	-	3	10	30	8	28	1,2	Hohes SO ₃ : N-Verhältnis für ein ausgewogenes Wachstum
VEGETABLES	7	-	7	10	30	7	14	1,3	Entwickelt für Gemüsepaprika & Salatgurke
STRAWBERRY	6,5	0,5	7	9	28	8	17	1,2	Geeignet für die meisten anderen Beerenarten
LETTUCE	7	-	7	9	37	3	13	1,2	Mit Fe-EDDHA zur Gewährleistung einer gesunden grünen Pflanzenfarbe
ROSES	6	1	7	11	24	8	16	1,2	auch mit Fe-EDDHA

YaraTera Ferticare Mikronährstoffe Spezifikationen in Gewichtsprozenten

YaraTera Ferticare Mikronährstoffe	B	Cu EDTA	Fe EDTA	Fe DTPA	Fe EDDHA	Mn EDTA	Mo	Zn EDTA
VEGETABLES & TOMATO & STRAWBERRY	0,022	0,004	0,06	0,08		0,033	0,003	0,022
ROSE & LETTUCE	0,020	0,004		0,14	0,01	0,033	0,003	0,021

YaraTera® CALCINIT®

Um hohe Qualitätsziele im Gemüsebau zu erreichen, braucht es einen qualitativ hochwertigen Dünger, wie YaraTera Calcinit. Er ist in vielen Kulturen einsetzbar und rückstandsfrei wasserlöslich. Der Dünger liefert den Pflanzen sowohl pflanzenverfügbaren Nitrat-Stickstoff als auch Calcium.

Welche Vorteile hat Nitrat-Stickstoff?

Nitrat-Stickstoff wird von den Pflanzen direkt aufgenommen. Er wirkt dadurch schnell und effizient. Es entstehen kaum gasförmige Verluste. Zudem fördert Nitrat-Stickstoff die Aufnahme anderer qualitätsrelevanter Nährstoffe, wie Calcium, Magnesium und Kalium.

Warum Calcium?

Der Nährstoff spielt eine wichtige Rolle für die Festigkeit von Gemüse und damit auch für die Qualität und Lagerfähigkeit des Ernteprodukts. Ausreichend mit Calcium versorgtes Gemüse ist widerstandsfähiger gegenüber Krankheiten, Schädlingen und physiologischen Schäden, wie Innenbrand und Blütenendfäule. Ebenso unterstützt der Nährstoff das Wurzelwachstum und die Stress-Toleranz der Pflanzen gegenüber Hitze, Kälte und Trockenheit. Zur Ernte hin wirkt sich der Einsatz des Düngers förderlich auf Größe und Aussehen des Gemüses aus.

Durch das Zusammenspiel aus Calcium und Nitratstickstoff werden Ertrag und Qualität des Gemüses verbessert.



YaraTera® CALCINIT®

15,5	%	N	Gesamt-Stickstoff
14,4	%	N	Nitratstickstoff
1,1	%	N	Ammoniumstickstoff

Zusätzlich enthalten:
26 % CaO wasserlösliches Calciumoxid

Physikalische Eigenschaften:
Kalksalpeter (Calciumnitrat) geprillt,
Spritzqualität, voll wasserlöslich

Löslichkeit bei 20°	2100 g/Liter
Bei 0°C	1300 g/Liter
EC-Wert (1 g/Liter; 25°C)	1,24 mS/cm
Korngrößen (ISO)	+ 2,0 mm: max. 20% - 2,0 + 1,0 mm: min. 78% - 1,0 mm: max. 2%
Nicht wasserl. Substanzen	0,035%
Dichte	1,05 kg/dm ³

Gute Gründe für den Einsatz von YaraTera Calcinit

- Calcium verbessert Qualität und Lagerfähigkeit von Gemüse
- Der Dünger ist vollständig wasserlöslich
- Das Produkt eignet sich für die Tropfbewässerung
- Stabilisiert den pH-Wert im Wurzelbereich
- Keine Festlegung im Boden oder Bodenversauerung

Anwendung

YaraTera Calcinit ist vollständig wasserlöslich. Daher eignet sich der Dünger besonders für den Einsatz in Tropfbewässerungs- und Beregnungsanlagen. Er kann aber auch mit der Pflanzenschutzspritze ausgebracht werden.

Tropfbewässerung

Zur Tropfbewässerung stellen Sie eine 10 bis 15 %-ige Stammlösung her und geben sie als Nährlösung über Tropfer direkt in den aktiven Wurzelbereich.

Mischbarkeit: YaraTera lässt sich in der Stammlösung mit Düngern mischen, die kein Phosphat oder Sulfat enthalten. Blattdünger eignen sich ebenfalls für eine Mischung.

YaraTera Krista

Vollständige Nährstofflösungen

Ein umfangreiches Angebot an weiteren Mineraldüngern und Nährsalzen finden Sie in unserem YaraTera Krista Sortiment.

- YaraTera KRISTA K PLUS
- YaraTera KRISTA MAG
- YaraTera KRISTA MAP
- YaraTera KRISTA MgS
- YaraTera KRISTA MKP

Jedes YaraTera Krista-Produkt liefert einen anderen Nährstoff. So können Sie die Produkte beliebig kombinieren und die Nährstoffmengen flexibel anpassen – ganz nach dem Bedarf Ihrer Pflanzen.

Wir empfehlen:


Kombinieren Sie YaraLiva Calcinit mit den Produkten des YaraTera Krista-Sortiments und denken Sie an die Spurennährstoffe. So gehen Sie sicher, dass Ihre Gemüsekulturen umfassend versorgt sind.

Ausbringung mit der Pflanzenschutzspritze

Kultur	kg YaraLiva® CALCINIT® in 600 l Wasser
Sellerie	75
Weiß-, Rotkohl	50
Wirsing	50
Chinakohl, Möhren	20
Eissalat	15
Spargel	7

Quelle: AG Intensivgemüsebau Viersen und Heinsberg, Herr Weißler

Jedes YaraTera Krista Produkt enthält eine andere Kombination an Salzen

Kationen/Anionen	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ₂ ⁺
NO ₃ ⁻			
PO ₄ ⁻			
SO ₄ ⁻		